

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Inventor : **Hiroshi IIZUKA, et al.**  
Filed : **Concurrently herewith**  
For : **OPTICAL AMPLIFIER AND.....**  
Serial No. : **Concurrently herewith**

November 17, 2003

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**PRIORITY CLAIM AND**  
**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

S I R:

Applicant hereby claims priority under 35 USC 119 from **Japanese** patent application number **2002-333501** filed **November 18, 2002**, a certified copy of which is enclosed.

Respectfully submitted,



---

Thomas J. Bean  
Reg. No. 44,528

Katten Muchin Zavis Rosenman  
575 Madison Avenue  
New York, NY 10022-2585  
(212) 940-8800  
Docket No.: FUJI 20.747

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 1 月 1 8 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 3 3 5 0 1  
Application Number:

[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 2 - 3 3 3 5 0 1 ]

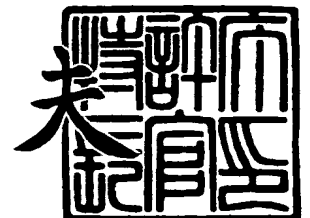
出      願      人                      富 士 通 株 式 会 社  
Applicant(s):

出  
(金)  
受  
付  
印  
2003  
PAT

2 0 0 3 年    7 月 2 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 0 5 9 4 3 8

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251195

【提出日】 平成14年11月18日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 H04B 10/00

【発明の名称】 光増幅器及びその制御方法

【請求項の数】 10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 飯塚 博

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 小牧 浩輔

【発明者】

【住所又は居所】 北海道札幌市北区北七条西四丁目3番地1 富士通東日本デジタル・テクノロジー株式会社内

【氏名】 伊藤 洋之

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100070150

【住所又は居所】 東京都渋谷区恵比寿4丁目20番3号 恵比寿ガーデンプレイスタワー32階

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【電話番号】 03-5424-2511

## 【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-173620

【出願日】 平成14年 6月14日

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0114942

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅器及びその制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの間に光学的に接続された可変光減衰器と

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き  
前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 の制御ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの  
入力及び出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 の制御ユニットとを  
備えた光増幅器。

【請求項 2】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器と、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力を減衰する第 2 の可変光減衰器と、

前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前  
記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 の制御ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの  
入力及び出力に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 の制  
御ユニットとを備えた光増幅器。

【請求項 3】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器と、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記  
第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を  
制御する第 1 の制御ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記可変光減衰器により減衰された前記第  
1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記可変  
光減衰器の減衰を制御する第 2 の制御ユニットとを備えた光増幅器。

【請求項 4】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器と、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力を減衰する第 2 の可変光減衰器と、

前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 の制御ユニットと、

前記第 2 の可変光減衰器の出力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の特性に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 の制御ユニットとを備えた光増幅器。

【請求項 5】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器と、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 の制御ユニットと、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記可変光減衰器の特性に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 の制御ユニットとを備えた光増幅器。

【請求項 6】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの間に光学的に接続された可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

【請求項 7】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のス

テップとを備えた制御方法。

【請求項 8】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

【請求項 9】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器と、前記第 1 の光増幅ユニットの入力を減衰する第 2 の可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 2 の可変光減衰器の出力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の特性に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

【請求項 10】 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記可変光減衰器の特性に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、光増幅器及び光増幅器の制御方法に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

近年、低損失（例えば0.2 dB/km）な石英系の光ファイバの製造技術及び使用技術が確立されたことに伴い、光ファイバを伝送路とする光通信システムが実用化されている。このような光通信システムでは、光ファイバにおける損失を補償して長距離の伝送を可能にするために、光信号又は信号光を増幅するための光増幅器が実用に供されている。

**【0003】**

従来知られている光増幅器は、増幅されるべき信号光が供給される光増幅媒体と、光増幅媒体が信号光の波長を含む利得帯域を提供するように光増幅媒体をポンピング（励起）するポンピングユニットとから構成される。

**【0004】**

例えば石英系ファイバで損失が小さい波長1.55  $\mu$ m帯の信号光を増幅するための光増幅器の一例として、エルビウムドープファイバ増幅器（以下、EDFAという）が開発されている。

**【0005】**

EDFAは、光増幅媒体としてエルビウムドープファイバ（以下、EDFという）と、予め定められた波長を有するポンプ光をEDFに供給するためのポンプ光源とを備えている。EDFAは、0.98  $\mu$ m帯あるいは1.48  $\mu$ m帯の波長を有するポンプ光を用いることによって、波長1.55  $\mu$ mを含む利得帯域が得られる。

**【0006】**

また、光ファイバによる伝送容量を増大させるための技術として、波長分割多重（以下、WDMという）がある。WDMが適用される光通信システムにおいては、異なる波長を有する複数の光キャリアが用いられる（例えば、特許文献1参照）。

**【0007】**



WDMが適用される光通信システムでは、各光キャリアを独立に変調することによって得られた複数の光信号が光マルチプレクサにより波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光が光ファイバ伝送路に送出される。受信側では、受けたWDM信号光が光デマルチプレクサによって個々の光信号に分離され、各光信号に基づいて伝送データが再生される。従って、WDMを適用する光通信システムでは、光信号の多重数に応じて1本の光ファイバにおける伝送容量を増大させていた。

#### 【0008】

このように、WDMが適用される光通信システムでは光増幅器を線形中継器として用いることで、従来の再生中継器を用いる場合と比較して、中継器内における部品点数を削減し、信頼性を確保すると共に、コストダウンを行っていた。

#### 【0009】

##### 【特許文献】

特開平11-122192号公報

#### 【0010】

##### 【発明が解決しようとする課題】

WDMが適用される光通信システムに光増幅器を組み入れる場合、利得の波長特性を一定に保つ必要性や、光ファイバ伝送路の非線形効果による波形劣化を防止するという要求から、光増幅器に関して種々の制御が必要になる。

#### 【0011】

例えばEDFAにおいては、ポンピング条件により決定される利得に従って利得の波長特性が変化するので、入力に対して一定の利得を与えて出力するようにAGC（自動利得制御）が行われる。この場合、一定利得の下で入力が増加すると、それに従って出力も変化する。

#### 【0012】

一方、光増幅器においては、S/Nの観点から信号出力が高ければ高いほど良いが、光ファイバ伝送路の非線形効果による波形劣化や受信端での入力ダイナミックレンジを考慮すると、一概にそうとも言えない。即ち、光増幅器の出力が予め定められた範囲で一定になるように、ALC（自動レベル制御）を行う要求が

あるのである。

#### 【0013】

AGC及びALCの両方を実施するのに最適な構成として、第1及び第2の光増幅ユニットと、これらの間に接続される可変光減衰器とを備えた光増幅器が提案されている。このような構成の光増幅器では、第1及び第2の光増幅ユニットの各々においてAGCが実施され、可変光減衰器によりALCが実施される。

#### 【0014】

このような構成が提案された理由としては、第1に、光増幅器全体のNF (Noise Figure) を最適化する観点から、ALCのための可変光減衰器を前段に設けるのが不利であるということがある。第2に、光増幅器として所定の信号出力パワーを確保する観点から、ALCのための可変光減衰器を後段に設けると、その直前のAGCのための光増幅ユニットにおいてより高い信号出力パワーを得る必要があり、ポンプ光源としてのレーザダイオードの低消費電力化の観点から不利になるという点がある。

#### 【0015】

ところで、前述したAGC及びALCの両方を実施するのに適した光増幅の構成においては、第1及び第2の光増幅ユニットの各々において独立してAGCを行う必要上、光増幅器の構成が複雑になるという問題がある。

#### 【0016】

また、この光増幅器をWDMが適用される光通信システムにおいて使用する場合、WDMのチャンネル数が変化したときに、ALCのための可変光減衰器の制御が複雑であるという問題もある。より具体的に、光増幅器ではWDM信号光を増幅する際にALCを行う場合、可変光減衰器の出力のトータルパワーが一定になるように制御がなされるので、光通信システムの運用中にWDM信号光のチャンネル数が変化したときに、可変光減衰器の制御の目標値が異なるものとなる。

#### 【0017】

可変光減衰器のこの制御の目標値は、一般的には上流側に設けられている監視制御装置から伝達されるので、光通信システムの波長数増減に際して煩雑な監視作業が必要になる。また、光増幅器では波長数増減に際して一時的に可変光減衰

器の減衰が固定されるのであるが、A L C ループを開放した状態で波長数変化に応じた制御の目標値に更新し、再びA L C ループを閉じるという動作が必要となるので、一連の動作中に可変光減衰器の減衰量が変動する危険がある。

#### 【0018】

ここで、第1及び第2の光増幅ユニットにおいてはA G C が継続的に実施されているので、可変光減衰器の制御の目標値の切換えに際して1波長チャンネルあたりの出力パワーが変動する危険性がある。

#### 【0019】

本発明は、上記の点に鑑みなされたもので、自動利得制御および自動レベル制御を実施する場合に、制御誤差が生じにくく、複雑な構成を必要とせず、且つ波長数の増減に容易に対応できる、波長分割多重に適用可能な光増幅器及び光増幅器の制御方法を提供することを目的とする。なお、本発明の他の目的は以下の説明から明らかになる。

#### 【0020】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明によると、第1及び第2の光増幅ユニットと、第1及び第2の光増幅ユニットの間に光学的に接続された可変光減衰器と、第1の光増幅ユニットの入力及び第2の光増幅ユニットの出力に基き第1及び第2の光増幅ユニットの利得を制御する第1の制御ユニットと、第1の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第2の光増幅ユニットの入力及び出力に基き可変光減衰器の減衰を制御する第2の制御ユニットとを備えた光増幅器が提供される。

#### 【0021】

例えば、第1の制御ユニットは光増幅器の出力パワーが一定になるように第1及び第2の光増幅ユニットの利得を制御するまた、第2の制御ユニットは第1及び第2の光増幅ユニットの利得の和が一定になるように可変光減衰器の減衰を制御する。

#### 【0022】

この構成によると、従来技術のように可変光減衰器に関してA L C を行うことなしに、A G C の適切な組み合わせに基き、光増幅器全体として実質的にA L C

が行われているのと同等になり、本発明の目的が達成される。

#### 【0023】

本発明の他の側面によると、第1及び第2の光増幅ユニットと、第1及び第2の光増幅ユニットの間に光学的に接続された可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法が提供される。この方法は、第1の光増幅ユニットの入力及び第2の光増幅ユニットの出力に基き第1及び第2の光増幅ユニットの利得を制御するステップと、第1の光増幅ユニットの入力及び出力並びに第2の光増幅ユニットの入力及び出力に基き可変光減衰器の減衰を制御するステップとを備えている。

#### 【0024】

##### 【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について図面に基づいて説明する。

#### 【0025】

図1は、光増幅器においてAGC及びALCの両方を行うのに最適な構成を示すブロック図である。入力端2と出力端4との間にAGCユニット6、ALCユニット8及びAGCユニット10がこの順で光学的に接続されている。例えばAGCユニット6及び10は、EDFAによって提供される。また、ALCユニット8は可変光減衰器によって提供される。

#### 【0026】

前段のAGCユニット6では、入力信号光のパワー変動が発生した場合においても、そのパワー変動込みでAGCによる光増幅が行われる。ALCユニット8では、出力信号光パワーが一定になるような制御が行われているので、入力信号光のパワー変動が発生した場合においても、そのパワー変動を抑圧する方向で制御がかかる。従って、ALCユニット8における制御時定数よりも十分に遅い速度のパワー変動の場合には、ALCユニット8において入力信号光のパワー変動を完全に抑圧することができる。また、ALCユニット8においては、下記の値を制御目標値として設定することにより、間接的に出力端4における出力信号光パワーを所望の値に制御することができる。

#### 【0027】

$$P_{ALC} [dBm] = P_{SIGOUT} - G_B$$

ここで、PSIGOUTは出力端4における出力信号光の目標パワー[dBm]である。また、GBは後段のAGCユニット10での設定ゲイン[dB]である。後段のAGCユニット10では、ALCユニット8によってパワー変動が抑圧されているため、入力信号パワーが一定である。このため、AGCユニット10の動作に従ってAGCユニット10の出力信号光パワーは一定となり、且つその出力信号光パワーの値が出力端4での目標パワーとなる。

#### 【0028】

図2は、光増幅器の動作の一例について説明するための模式図である。図2を参照すると、図1に示される光増幅器の構成における動作が模式的に示されている。

#### 【0029】

図2中、グラフAは入力端2における信号光パワーの変化を表している。グラフBは、ALCユニット8の入力における信号光パワーの変化を表している。グラフCは、後段のAGCユニット10の入力における信号光パワーの変化を表している。グラフDは、出力端4における信号光パワーの変化を表している。

#### 【0030】

入力端2における信号光パワーの変化は前段のAGCユニット6の出力に反映される。入力端2における信号光パワーの変化は、ALCユニット8の動作に従って抑圧される。そして、変化が抑圧された信号光パワーは後段のAGCユニット10により、一定の利得に従って増幅される。

#### 【0031】

図1に示される光増幅器の構成においては、ALCユニット8が独立に設けられているので、WDMチャネル数の変更に対応することができない等の問題があることは前述した通りである。本発明では、AGCユニットを匠に組み合わせることによって、実質的にALCの機能を持たせ、上述の問題に対応している。

#### 【0032】

図3は、本発明による光増幅器の第1実施例のブロック図である。この光増幅器は、入力端12及び出力端14の間に第1の光増幅ユニット16、可変光減衰

器（VOA）18及び第2の光増幅ユニット20を光学的にカスケード接続するように構成されている。

#### 【0033】

入力端12に供給された増幅されるべき信号光は、第1の光増幅ユニット16において、光カップラ22及びWDMカップラ24をこの順に通ってEDF26に供給される。レーザダイオード28からのポンプ光はWDMカップラ24を通してEDF26に供給される。これにより、ポンプ光のパワーに応じた利得が得られるようになっている。EDF26内において増幅された信号光は、光カップラ30を通して第1の光増幅ユニット16から出力される。

#### 【0034】

第1の光増幅ユニット16の入力及び出力をモニタリングするために、光増幅器は、それぞれフォトディテクタ32及び34が設けられている。フォトディテクタ32は光カップラ22で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ34は、光カップラ30で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ32からの電気信号は、第1の制御ユニットとしてのAGC回路36に供給される。また、フォトディテクタ32及び34からの電気信号は第2の制御ユニットとしてのAGC回路38に供給される。

#### 【0035】

第1の光増幅ユニット16により増幅された信号光は可変光減衰器18によって減衰されたあと、第2の光増幅ユニット20に供給される。第2の光増幅ユニット20に供給された信号光は、光カップラ40及びWDMカップラ42をこの順に通ってEDF44に供給される。レーザダイオード46からのポンプ光は、WDMカップラ42を介してEDF44に供給される。これによりポンプ光のパワーに応じた利得が得られている。EDF44において増幅された信号光は、光カップラ48及び出力端14を通して出力される。

#### 【0036】

第2の光増幅ユニット20の入力及び出力をモニタリングするために、光増幅器は、それぞれフォトディテクタ50及び52が設けられている。フォトディテクタ50は光カップラ40で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディ

テクタ 52 は、光カプラ 48 で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ 52 からの電気信号は、A G C 回路 36 に供給される。また、フォトディテクタ 50 及び 52 からの電気信号は A G C 回路 38 に供給される。

#### 【0037】

A G C 回路 36 からの制御信号は、ポンプ光源としてのレーザダイオード 28 及びレーザダイオード 46 に供給される。これにより、入力端 12 から出力端 14 に至るトータル部分における総利得が目標値に制御される。また、A G C 回路 38 は、第 1 の光増幅ユニット 16 における利得と第 2 の光増幅ユニット 20 における利得の和が一定になるように可変光減衰器 18 の減衰を制御する。

#### 【0038】

ここで、A G C 回路 36 の構成例について説明する。図 4 は、光増幅ユニット 16 及び 20 の利得を制御する A G C 回路の第 1 実施例の構成図である。フォトディテクタ 32 及び抵抗 R 1 は、電源線 V c c とグランドとの間に直列に接続されている。フォトディテクタ 32 には逆バイアスを与えられ、光増幅ユニット 16 の入力に応じた光電流がフォトディテクタ 32 及び抵抗 R 1 を流れる。

#### 【0039】

したがって、フォトディテクタ 32 及び抵抗 R 1 の接続点の電位を光増幅ユニット 16 の入力に応じた電圧信号として取り出すことができる。信号成分をカットして光増幅ユニット 16 の入力の平均レベルを得るために、抵抗 R 1 には並列にキャパシタ C 1 が接続されている。

#### 【0040】

同じように、フォトディテクタ 52 及び抵抗 R 2 は、電源線 V c c とグランドとの間に直列に接続されている。フォトディテクタ 52 には逆バイアスを与えられ、光増幅ユニット 20 の出力に応じた光電流がフォトディテクタ 52 及び抵抗 R 2 を流れる。

#### 【0041】

したがって、フォトディテクタ 52 及び抵抗 R 2 の接続点の電位を光増幅ユニット 20 の出力に応じた電圧信号として取り出すことができる。信号成分をカットして光増幅ユニット 20 の出力の平均レベルを得るために、抵抗 R 2 には並列

にキャパシタ C 2 が接続されている。

#### 【0042】

フォトディテクタ 3 2 による電圧信号は、利得が電圧制御増幅器（以下、VCA という）5 4 により増幅されて差動増幅器 6 6 の一方の入力ポートに供給される。また、フォトディテクタ 5 2 による電圧信号は利得が固定されている増幅器 5 6 により増幅されて差動増幅器 6 6 の他方の入力ポートに供給される。

#### 【0043】

VCA 5 4 及び増幅器 5 6 の出力は、それぞれアナログ／デジタル変換器（以下、ADC という）5 8 及び 6 0 によりデジタル信号に変換されて CPU 6 4 に供給される。また、CPU 6 4 内における演算によって得られたデジタル信号がデジタル／アナログ変換器（以下、DAC という）6 2 により電圧信号に変換され、その電圧信号に基づいて VCA 5 4 の利得が調節される。

#### 【0044】

ポンプ光源としてのレーザダイオード 2 8 を駆動するために、増幅器 6 8、トランジスタ 7 0 および抵抗 R 3 が設けられている。また、レーザダイオード 4 6 を駆動するために、増幅器 7 2、トランジスタ 7 4 および抵抗 R 4 が設けられている。そして、レーザダイオード 2 8 及び 4 6 は差動増幅器 6 6 の出力に基づいて駆動制御される。

#### 【0045】

増幅器 5 6 及び VCA 5 4 の出力レベルをそれぞれ  $V\_AMP1OUT$  および  $V\_VCA1OUT$  とすると、次の関係が満足されるように抵抗 R 1 及び R 2 の値並びに VCA 5 4 及び増幅器 5 6 の利得が設定される。

#### 【0046】

即ち、光増幅器の入力信号光パワー、出力信号光パワーおよび利得がそれぞれ  $x$  [dB]、 $x + A$  [dB] および  $A$  [dB] のときに、 $V\_AMP1OUT$  及び  $V\_VCA1OUT$  が同じ  $y$  [V] で一致するようにされる。これは、フォトディテクタ 3 2 および 5 2 にそれぞれ関連するモニタ回路の受光感度  $[V/W]$  に 10 ( $AMP\_G / 10$ ) の比を持たせることを意味している。ここで、 $AMP\_G$  は光増幅器の利得である。



**【0047】**

上記の関係ではAが一定であるので、一波当たりの入力信号光パワーが変動した場合に、これに連動して出力信号光パワーも変動してしまう。そこで、出力信号光パワーが目標値で一定になるようにCPU64において演算が実施され、その結果に応じてVCA54の利得が調節されるのである。

**【0048】**

このように、本実施例では光増幅ユニット16および20の利得を制御することにより、実質的にALCを行うこともできる。従って、従来のように可変光減衰器を用いてALCを行う場合と比較して、運用チャネル数の変更等に際して煩雑な切換え作業が不要になる。

**【0049】**

ここで、AGC回路38の構成例について説明する。図5は、可変光減衰器18の減衰を制御するAGC回路の第1実施例の構成図である。第1の光増幅ユニット16の入力および出力をモニタリングするために、フォトディテクタ32及び34による電圧信号は利得が固定されている増幅器54または56により増幅されて、それぞれADC62及び64に供給される。ADC62及び64は、フォトディテクタ32及び34による電圧信号をデジタル信号に変換してCPU70に供給する。

**【0050】**

第2の光増幅ユニット20の入力および出力をモニタリングするために、フォトディテクタ50及び52による電圧信号は利得が固定されている増幅器58または60により増幅されて、それぞれADC66及び68に供給される。ADC66及び68は、フォトディテクタ50及び52による電圧信号をデジタル信号に変換してCPU70に供給する。

**【0051】**

CPU70では、第1の光増幅ユニット16において生じる利得と第2の光増幅ユニット20において生じる利得の和が一定になるようにする条件（具体的には可変光減衰器18の減衰）が算出される。算出の結果は、DAC74により電圧信号に変換されて、増幅器76、トランジスタ78及び抵抗R7からなる可変

光減衰器 18 の駆動回路に供給される。

【0052】

次に、可変光減衰器 18 の制御について、より特定のな説明及びそれにより得られる技術的効果の説明を行う。

【0053】

図 4 に示される AGC 回路 36 による制御だけであると、WDM 信号光の波長帯域における利得の波長特性を一定に保つことができないので、利得偏差（ゲインチルト）の発生により伝送特性が劣化する可能性がある。複数の光増幅器がカスケード接続された構成において、利得の波長特性を一定に保つためには、各光増幅器の利得を一定に制御すれば良いが、それ以外にも、複数の光増幅器の利得の和が一定になるように制御しても良い。

【0054】

第 1 の光増幅ユニット 16 の実利得を  $G\_A'$  [dB]、第 2 の光増幅ユニット 20 の実利得を  $G\_B'$  [dB]、第 1 の光増幅ユニット 16 の目標利得を  $G\_A$  [dB] および第 2 の光増幅ユニットの目標利得を  $G\_B$  [dB] すると、基本制御は、 $G\_A' = G\_A$  且つ  $G\_B' = G\_B$  とすることである。

【0055】

例えば第 1 の光増幅ユニット 16 の利得が  $\Delta G$  [dB] 低下したとき、従来技術では第 2 の光増幅ユニット 20 の利得が  $\Delta G$  [dB] 増えるように制御が行われていた。これにより、実質的に  $G\_A' + G\_B' = G\_A + G\_B$  が満たされ、光増幅器全体での利得の波長特性が一定に保たれる。

【0056】

しかしながら、第 1 の光増幅ユニット 16 および第 2 の光増幅ユニット 20 のそれぞれにおいて AGC 回路 36 が必要になり、両光増幅ユニット 16、20 間で  $\Delta G$  の受け渡しをする機能が必要となるため、高速な AGC をかけることが困難となる。

【0057】

本実施例では、利得の和が一定になるようにする制御を可変光減衰器 18 により行うことで、この問題に対処している。まず、CPU 70 では、光増幅ユニッ

ト 16 及び 20 の利得和  $EDF\_G'$  が次式に従って算出される。

【0058】

$$\begin{aligned} EDF\_G' &= G\_A' + G\_B' \\ &= (OUT1MON - IN1MON) \\ &\quad + (OUT2MON - IN2MON) \end{aligned}$$

なお、上記式の  $IN1MON$ 、 $OUT1MON$ 、 $IN2MON$  及び  $OUT2MON$  は、それぞれフォトディテクタ 32, 34, 50 及び 52 による光パワーのモニタリング値である。

【0059】

そして、 $EDF\_G'$  と  $EDF\_G$  の目標値である  $EDF\_G$  との比較が行われ、 $EDF\_G'$  と  $EDF\_G$  との差分が零になるように次式に従って可変光減衰器 18 の減衰が制御される。

【0060】

$$\begin{aligned} EDF\_G' &= (OUT2MON - IN1MON) \\ &\quad + (OUT1MON - IN2MON) \\ &= AMP\_G + VOA\_L \end{aligned}$$

なお、上記式の  $AMP\_G$  は光増幅器全体の利得である。また、 $VOA\_L$  は可変光減衰器 18 の減衰である。したがって、 $VOA\_L = EDF\_G' - AMP\_G$  により求まる値となるように可変光減衰器 18 の減衰を制御すれば、光増幅器全体での利得が一定に保たれるように、容易に制御できる。

【0061】

図 6 は、本発明による光増幅器の第 2 実施例のブロック図である。この光増幅器は、入力端 82 及び出力端 84 の間に第 1 の光増幅ユニット 86、第 1 の可変光減衰器 (VOA) 88 と、第 2 の光増幅ユニット 92 とを光学的にカスケード接続するように構成されている。

【0062】

入力端 82 に供給された増幅されるべき信号光は、第 1 の光増幅ユニット 86 において、光カップラ 94 及び WDM カプラ 96 をこの順に通って  $EDF100$  に供給される。レーザダイオード 104 からのポンプ光は、WDM カプラ 96 を通

ってEDF100に供給される。これにより、ポンプ光のパワーに応じた利得が得られるようになっている。EDF100内において増幅された信号光は、光カプラ102を通過して第1の光増幅ユニット86から出力される。また、光カプラ94で分岐された信号光は光カプラ98を通過して第1の光増幅ユニット86から出力される。

#### 【0063】

第1の光増幅ユニット86の入力及び出力をモニタリングするために、光増幅器は、それぞれフォトディテクタ106及び108が設けられている。フォトディテクタ106は光カプラ98で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ108は、光カプラ102で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ106及び108からの電気信号は、第2の制御ユニットとしてのAGC回路112に供給される。

#### 【0064】

第1の光増幅ユニット86により増幅された信号光は第1の可変光減衰器88によって減衰されたあと、第2の光増幅ユニット92に供給される。また、光カプラ94で分岐された信号光は光カプラ98を通過して第2の可変光減衰器(VOA)90に供給され、減衰される。第2の可変光減衰器90で減衰された信号光をモニタリングするために、光増幅器はフォトディテクタ124が設けられている。

#### 【0065】

フォトディテクタ124は第2の可変光減衰器90で減衰された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ124からの電気信号は、AGC回路110に供給される。

#### 【0066】

また、第2の光増幅ユニット92に供給された信号光は、光カプラ114およびWDMカプラ116をこの順に通過してEDF118に供給される。レーザダイオード122からのポンプ光は、WDMカプラ116を介してEDF118に供給される。これによりポンプ光のパワーに応じた利得が得られている。EDF118において増幅された信号光は、光カプラ120及び出力端84を通過して出力

される。

#### 【0067】

第2の光増幅ユニット92の入力及び出力をモニタリングするために、光増幅器は、それぞれフォトディテクタ126及び128が設けられている。フォトディテクタ126は光カプラ114で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ128は、光カプラ120で分岐された信号光を電気信号に変換する。フォトディテクタ126からの電気信号は、AGC回路112に供給される。また、フォトディテクタ128からの電気信号はAGC回路110及び112に供給される。

#### 【0068】

AGC回路110からの制御信号は、ポンプ光源としてのレーザダイオード104及びレーザダイオード122に供給される。これにより、入力端82から出力端84に至るトータル部分における総利得が目標値に制御される。

#### 【0069】

また、AGC回路112は第1の光増幅ユニット86における利得と第2の光増幅ユニット92における利得の和が一定になるように第1の可変光減衰器88の減衰を制御する。なお、光増幅器は、AGC回路110および112からなる制御回路部と、制御回路部以外の光回路部とに大別される。

#### 【0070】

図6の光増幅器では、フォトディテクタ106からの電気信号（以下、PD1モニタ値という）と、フォトディテクタ108からの電気信号（以下、PD2モニタ値という）と、フォトディテクタ124からの電気信号（以下、PD3モニタ値という）と、フォトディテクタ126からの電気信号（以下、PD4モニタ値という）と、フォトディテクタ128からの電気信号（以下、PD5モニタ値という）とを用いて、光増幅器全体利得（Amp\_\_Gain），EDF利得（EDF\_\_total\_\_Gain），VOA1減衰量（VOA1\_\_Loss），VOA2減衰量（VOA2\_\_Loss）の制御を行う。

#### 【0071】

なお、PD1モニタ値は入力光信号のモニタ値である。PD2モニタ値は、第

1の光増幅ユニット86により増幅された光信号のモニタ値である。PD3モニタ値は、第2の可変光減衰器90により減衰された光信号のモニタ値である。PD4モニタ値は、第1の可変光減衰器88により減衰された光信号のモニタ値である。PD5モニタ値は、第2の光増幅ユニット92により増幅された光信号のモニタ値である。

#### 【0072】

光増幅器全体利得は、光増幅器全体の利得である。EDF利得は、光増幅ユニット86及び92の利得和である。VOA1減衰量は、第1の可変光減衰器88の減衰である。VOA2減衰量は、第2の可変光減衰器90の減衰である。

#### 【0073】

光増幅器全体利得、EDF利得、VOA1減衰量、VOA2減衰量は、PD1モニタ値～PD5モニタ値を用いて以下のように求めることができる。

#### 【0074】

$$\text{Amp\_Gain} = \text{PD5モニタ値} - \text{PD1モニタ値}$$

$$\text{VOA1\_Loss} = \text{PD2モニタ値} - \text{PD4モニタ値}$$

$$\text{VOA2\_Loss} = \text{PD1モニタ値} - \text{PD3モニタ値}$$

$$\text{EDF\_total\_Gain} = (\text{PD5モニタ値} - \text{PD4モニタ値}) + (\text{PD2モニタ値} - \text{PD1モニタ値})$$

$$= (\text{PD5モニタ値} - \text{PD1モニタ値}) + (\text{PD2モニタ値} - \text{PD4モニタ値})$$

$$= \text{Amp\_Gain} + \text{VOA1\_Loss}$$

上記の関係により、図6の光増幅器では通常動作（AGC状態）においてVOA1減衰量および光増幅器全体利得を制御している。

#### 【0075】

次に、AGC回路110の構成例について説明する。AGC回路110は、光増幅器全体利得が所望の値となるようにレーザダイオード104および122を駆動するため、光増幅器全体利得一定制御を行う。

#### 【0076】

図7は、光増幅ユニット86及び92の利得を制御するAGC回路の第2実施例の構成図である。フォトディテクタ124及び抵抗R3は、電源線Vccとグランドとの間に直列に接続されている。フォトディテクタ124には逆バイアス

が与えられ、可変光減衰器 90 の出力に応じた光電流がフォトディテクタ 124 及び抵抗 R3 を流れる。

【0077】

したがって、フォトディテクタ 124 及び抵抗 R3 の接続点の電位を可変光減衰器 90 の出力に応じた電圧信号として取り出すことができる。信号成分をカットして可変光減衰器 90 の出力の平均レベルを得るために、抵抗 R3 には並列にキャパシタ C3 が接続されている。

【0078】

同じように、フォトディテクタ 128 及び抵抗 R5 は、電源線 Vcc とグランドとの間に直列に接続されている。フォトディテクタ 128 には逆バイアスが与えられ、光増幅ユニット 92 の出力に応じた光電流がフォトディテクタ 128 及び抵抗 R5 を流れる。

【0079】

したがって、フォトディテクタ 128 及び抵抗 R5 の接続点の電位を光増幅ユニット 92 の出力に応じた電圧信号として取り出すことができる。信号成分をカットして光増幅ユニット 92 の出力の平均レベルを得るために、抵抗 R5 には並列にキャパシタ C5 が接続されている。

【0080】

フォトディテクタ 124 による電圧信号は、利得が固定されている増幅器 130 によりインピーダンス変換および増幅されて差動増幅器 134 の一方の入力ポートに供給される。また、フォトディテクタ 128 による電圧信号は利得が固定されている増幅器 132 によりインピーダンス変換および増幅されて差動増幅器 134 の他方の入力ポートに供給される。

【0081】

光増幅器は、ポンプ光源としてのレーザダイオード 104 を駆動するための増幅器 136、トランジスタ 138 および抵抗 R1 が設けられている。また、光増幅器はレーザダイオード 122 を駆動するための増幅器 140、トランジスタ 142 および抵抗 R2 が設けられている。そして、レーザダイオード 104 及び 122 は差動増幅器 134 の出力に基づいて駆動制御される。

## 【0082】

増幅器 1 3 0 及び 1 3 2 の出力レベルをそれぞれ  $Amp\ 3\_OUT$  および  $Amp\ 5\_OUT$  とすると、次の関係が満足されるように抵抗  $R\ 3$  及び  $R\ 5$  の値ならびに増幅器 1 3 0 および 1 3 2 の利得が設定される。

## 【0083】

即ち、 $PD\ 3$  モニタ値、 $PD\ 5$  モニタ値がそれぞれ  $x\ [dBm]$ 、 $x + Amp\ \_Gain$  基準値  $[dBm]$  のときに、 $Amp\ 3\_OUT$  および  $Amp\ 5\_OUT$  が同じ  $y\ [V]$  で一致するようにフォトディテクタ 1 2 4 および 1 2 8 にそれぞれ関連するモニタ回路の受光感度  $[V/W]$  を設定する。これは、フォトディテクタ 1 2 4 および 1 2 8 にそれぞれ関連するモニタ回路の受光感度  $[V/W]$  に 1 0 ( $AMP\_G/10$ ) の比を持たせることを意味している。ここで、 $AMP\_G$  は光増幅器全体の利得である。

## 【0084】

そして、差動増幅器 1 3 4 の出力は入力ポートに供給される電圧の差分が 0 になるようにレーザダイオード 1 0 4 及び 1 2 2 が駆動制御される。したがって、図 6 の光増幅器では波長数変化時であっても光増幅器全体利得を一定に保持することができる。

## 【0085】

しかし、上記の関係では光増幅器全体利得基準値 ( $AMP\_Gain$  基準値) が一定であるので、一波当たりの入力信号光パワーが変動した場合に、これに連動して出力信号光パワーも変動してしまう。そこで、図 6 の光増幅器では出力信号光パワーが制御目標値で一定になるように、後述する  $ALC$  を用いて入力信号光の変動を補償する制御を行う。

## 【0086】

光増幅器では、伝送路損失のバラツキや光ファイバ伝送路の経年劣化などに起因した入力ダイナミックレンジを吸収する必要があり、この制御を  $ALC$  により実現している。 $ALC$  状態では、光増幅器に対して上流側に設けられている監視制御装置から波長数情報が通知され、この波長数情報を用いることで光増幅器の出力目標値が決定される。



## 【0087】

従来の光増幅器では、中段のALCユニット8の信号出力が制御目標値になるように可変光減衰器を駆動させ、VOA減衰量の制御を実施していた。この制御目標値は、以下のように算出される。

## 【0088】

ALCユニット制御目標値 [dBm] = ALCユニット出力基準値 [dBm/ch] + 10  
Log (波長数) - Gc [dB]

なお、Gcは前段のAGCユニット6の不足利得であり、以下のように算出される。

## 【0089】

Gc [dB] = AGCユニット利得目標値 [dB] - AGCユニット利得 [dB]

したがって、後段のAGCユニット10の利得目標値はGc [dB]だけ増加させる必要があった。なお、可変光減衰器は光増幅器全体におけるNFおよび励起効率の観点から光増幅器の中段に構成されている。

## 【0090】

一方、本発明では一波当たりの入力信号の変動をVOA1減衰量の制御により行わない。前述したように光増幅器全体利得一定制御では入力信号が変動した分、出力信号を変化させるように制御し、後述するAGC回路112の制御でVOA1減衰量が一定値に保持されるためである。

## 【0091】

また、1つのAGC回路110で光増幅ユニット86及び92の利得を制御する光増幅器では、一波当たりの入力信号の変動が発生すると出力信号も連動して変動してしまうために、一波当たりの入力信号の変動を補償する回路またはマイクロコントローラなどによる制御を設ける必要がある。この結果、入力信号変動を補償する回路またはマイクロコントローラなどの雑音および応答速度が制御回路部に影響を与え、光増幅器の特性を劣化させる可能性がある。

## 【0092】

本願発明による光増幅器では、入力信号の変動を光回路部で補償するため、以下の処理方法1及び2に示すように、制御回路部での補償を必要としない構成で

ある。

[処理方法 1]

処理方法 1 では、PD 1 モニタ値から入力信号が入力ダイナミックレンジ内の何処にいるのかを認識する。その認識した情報に基づき、VOA 2 減衰量が制御され、出力信号レベルが一定に制御される。なお、光増幅器は上流側に設けられている監視制御装置から通知される波長数情報を用いて、制御に必要な以下の値を算出する。

【0093】

PD1モニタ値:  $z1$  [dBm]

PD3モニタ値:  $z3$  [dBm]

入力信号波長数情報:  $N$

入力信号光パワー:  $z1 - 10 \log(N)$  [dBm/ch]

一波当たりの入力信号光パワー上限値:  $u$  [dBm/ch]

入力ダイナミックレンジでの位置付け:  $L0 = u - \{z1 - 10 \log(N)\}$

VOA2減衰量:  $L = z1 - z3 - Ld$  [dB]

なお、入力信号光パワー、入力ダイナミックレンジでの位置付け、VOA 2 減衰量は、例えばマイクロコントローラなどで計算される。また、一波当たりの入力信号光パワー上限値は例えばROMに格納されている。

【0094】

ここで  $Ld$  は、一波当たりの入力信号光パワーが  $u$  [dBm/ch] のときのVOA 2 減衰量 (デッドロス) である。本発明の光増幅器では、一波当たりの入力光信号の変動 ( $L0$  に相当) を算出して  $L = L0$  となる様にVOA 2 減衰量  $L$  を制御する。この処理により、一波当たりの入力信号光パワーが変化した場合でも増幅器 130 の出力値は変化しない。

【0095】

この結果、増幅器 132 の出力値もAGC回路 110 により変化しないように制御されているため、光増幅器からの出力信号光パワーが一定に制御されてALC動作が実現できる。

[処理方法 2]

処理方法 2 では、PD5 モニタ値と出力信号基準値とを比較し、この差分が 0 となるように VOA2 減衰量を制御する。なお、光増幅器は上流側に設けられている監視制御装置から光増幅器に通知される波長数情報を用いて、制御に必要な以下の値を算出する。

【0096】

PD5 モニタ値:  $z5$  [dBm]

入力信号波長数情報:  $N$

一波当たりの出力基準値:  $A0$  [dBm/ch]

一波当たりの出力信号光パワー:  $A$  [dBm/ch]  $= z5 - 10 \log(N)$

なお、一波当たりの出力信号パワーは、例えばマイクロコントローラなどで計算される。また、一波当たりの出力基準値は例えば ROM に格納されている。本発明の光増幅器では、VOA2 減衰量  $L$  により、一波当たりの出力信号光パワー  $A$  を制御できる。したがって、 $A = A0$  となる様に VOA2 減衰量  $L$  を制御すれば ALC 動作が実現できる。なお、VOA2 減衰量  $L$  は処理方法 1 と同様に  $L = L0$  となる。

【0097】

前述した光増幅器全体利得一定制御および ALC 動作のみでは、入力ダイナミックレンジを考慮すると、EDF 利得偏差の影響により信号光波長帯域における信号利得の特性を一定に保つことができない。このため、本発明の光増幅器では利得偏差の特性を一定に保つために、EDF 利得一定制御を行う。

【0098】

図 8 は、可変光減衰器 88 及び 90 の減衰を制御する AGC 回路の第 2 実施例の構成図である。第 1 の光増幅ユニット 86 の入力および出力をモニタリングするために、フォトディテクタ 106 及び 108 による電圧信号は利得が固定されている増幅器 150 または 152 により増幅されて、それぞれ ADC 158 及び 160 に供給される。ADC 158 及び 160 は、フォトディテクタ 106 及び 108 による電圧信号をデジタル信号に変換してマイクロコントローラ 166 に供給する。

【0099】

第2の光増幅ユニット92の入力および出力をモニタリングするために、フォトディテクタ126及び128による電圧信号は利得が固定されている増幅器154または156により増幅されて、それぞれADC162及び164に供給される。ADC162及び164は、フォトディテクタ126及び128による電圧信号をデジタル信号に変換してマイクロコントローラ166に供給する。

#### 【0100】

マイクロコントローラ166では、前述したように、光増幅器全体利得とVOA1減衰量とを加算してEDF利得を算出できる。そのため、VOA1減衰量が以下のようなVOA1減衰量の目標値（VOA1\_\_Loss目標値）となるように可変光減衰器88を駆動することで、マイクロコントローラ166はEDF利得一定制御を実現する。

#### 【0101】

VOA1減衰量目標値＝光増幅器全体利得-EDF利得目標値

マイクロコントローラ166はVOA1減衰量目標値を算出し、そのVOA1減衰量目標値となるように可変光減衰器88を制御する。可変光減衰器88を制御するためにマイクロコントローラ166から出力された制御信号は、DAC168により電圧信号に変換されて、増幅器170、トランジスタ172及び抵抗R6からなる可変光減衰器88の駆動回路に供給される。

#### 【0102】

次に、図6の光増幅器の動作について図9を参照しつつ説明する。図9は、光増幅器の動作について説明するための模式図である。また、図10は、光増幅器の各モニタ値およびVOA減衰量の変化を示した表である。

#### 【0103】

グラフ180は、入力上限時（入力上限以外でもよい）にPD1モニタ値およびPD3モニタ値が同じ値を持つように初期値が設定された初期設定制御状態を表すものである。VOA1減衰量は、例えばROMなどに格納されている初期値となっている。

#### 【0104】

グラフ182は、入力信号に変動が発生した入力変動制御状態を表すものであ

る。グラフ182は、グラフ180に比べて信号パワーが小さくなるように変動している。

#### 【0105】

グラフ184は、入力信号の変動量を算出し、その変動量を補正するようにVOA2減衰量を制御する変動補正制御状態を表すものである。VOA2減衰量の制御により、一波当たりの入力信号の変動量が補正される。また、グラフ186はPD3モニタ値およびPD5モニタ値を用いたAGCにより光増幅器全体利得一定制御が行われ、EDF利得目標値を保持するようにVOA1減衰量が制御される。

#### 【0106】

なお、図10の表に含まれる「X」は、入力信号パワーを表す。「 $\alpha$ 」は、変動量を表す。「L1」は、VOA1減衰量を表す。「L2」は、VOA2減衰量を表す。「A」は、光増幅器全体利得を表す。

#### 【0107】

本実施例では、可変光減衰器88及び90を独立に制御しているが、一波当たりの入力レベルがX[dB]変動したとき、可変光減衰器88及び90の減衰量の変化が同じくX[dB]となる。そこで、2つの可変光減衰器を有する第2実施例の光増幅器と同様な処理を、1つの可変光減衰器を有する光増幅器で行う例について説明する。

#### 【0108】

図11は、本発明による光増幅器の第3実施例のブロック図である。この光増幅器は、入力端192及び出力端194の間に第1の光増幅ユニット196、可変光減衰器(VOA)198および第2の光増幅ユニット200を光学的にカスケード接続するように構成されている。

#### 【0109】

入力端192に供給された増幅されるべき信号光は、第1の光増幅ユニット196において、光カップラ202及びWDMカップラ204をこの順に通ってEDF206に供給される。レーザダイオード212からのポンプ光は、WDMカップラ204を通してEDF206に供給される。これにより、ポンプ光のパワーに応

じた利得が得られるようになっている。EDF 206 内において増幅された信号光は、アイソレータ 208 及び光カップラ 210 をこの順に通って第 1 の光増幅ユニット 196 から出力される。また、光カップラ 202 で分岐された第 1 の分岐信号光は第 1 の光増幅ユニット 196 からそのまま出力される。

#### 【0110】

第 1 の光増幅ユニット 196 により増幅された信号光は可変光減衰器 198 によって減衰されたあと、第 2 の光増幅ユニット 200 に供給される。第 2 の光増幅ユニット 200 に供給された信号光は、光カップラ 220, アイソレータ 222 および WDM カプラ 224 をこの順に通って EDF 226 に供給される。レーザダイオード 232 からのポンプ光は、WDM カプラ 224 を介して EDF 226 に供給される。これによりポンプ光のパワーに応じた利得が得られている。EDF 226 において増幅された信号光は、光カップラ 228 及び出力端 194 を通って出力される。

#### 【0111】

第 1 の光増幅ユニット 196 から出力された第 1 の分岐信号光は、第 2 の光増幅ユニット 200 の光カップラ 220 に供給され、第 2 の分岐信号光および第 3 の分岐信号光に分岐される。また、第 3 の分岐信号光は可変光減衰器 198 によって減衰されたあと、光カップラ 210 に供給される。光カップラ 210 に供給された第 3 の分岐信号光は、第 4 の分岐信号光に分岐される。

#### 【0112】

第 1 の光増幅ユニット 196 の入力をモニタリングするために、光増幅器はフォトディテクタ 230 が設けられている。フォトディテクタ 230 は光カップラ 220 で分岐された第 2 の分岐信号光を電気信号に変換する。

#### 【0113】

第 1 の光増幅ユニット 196 の入力に可変光減衰器 198 の減衰を反映させた信号光をモニタリングするために、光増幅器はフォトディテクタ 214 が設けられている。フォトディテクタ 214 は光カップラ 210 で分岐された第 4 の分岐信号光を電気信号に変換する。

#### 【0114】

また、第2の光増幅ユニット200の出力をモニタリングするために、光増幅器はフォトディテクタ234が設けられている。フォトディテクタ234は光カプラ228で分岐された第5の分岐信号光を電気信号に変換する。

#### 【0115】

フォトディテクタ230からの電気信号は、第2の制御ユニットとしてのAGC回路218に供給される。また、フォトディテクタ214及び234からの電気信号はAGC回路218及び第1の制御ユニットとしてのAGC回路216に供給される。

#### 【0116】

AGC回路216からの制御信号は、ポンプ光源としてのレーザダイオード12及びレーザダイオード232に供給される。これにより、入力端192から出力端194に至るトータル部分における総利得が目標値に制御される。

#### 【0117】

また、AGC回路218は第1の光増幅ユニット196における利得と第2の光増幅ユニット200における利得の和が一定になるように可変光減衰器198の減衰を制御する。なお、光増幅器は、AGC回路216および218からなる制御回路部と、制御回路部以外の光回路部とに大別される。

#### 【0118】

図11の光増幅器では、フォトディテクタ214からの電気信号（以下、PD1モニタ値という）と、フォトディテクタ230からの電気信号（以下、PD2モニタ値という）と、フォトディテクタ234からの電気信号（以下、PD3モニタ値という）とを用いて、光増幅器全体利得、EDF利得、VOA減衰量の制御を行う。

#### 【0119】

なお、アイソレータ208は第4の分岐信号光がEDF206に入るのを防いでいる。アイソレータ222はEDF226のBack ASEがフォトディテクタ214および230に入るのを防いでいる。

#### 【0120】

光増幅器全体利得、EDF利得、VOA減衰量は、PD1モニタ値～PD3モ

ニタ値を用いて以下のように求めることができる。

【0121】

$$\text{Amp\_Gain} = \text{PD3モニタ値} - \text{PD2モニタ値}$$

$$\text{VOA\_Loss} = \text{PD2モニタ値} - \text{PD1モニタ値}$$

$$\text{EDF\_total\_Gain} = \text{Amp\_Gain} + \text{VOA\_Loss}$$

$$= (\text{PD3モニタ値} - \text{PD2モニタ値}) + (\text{PD2モニタ値} - \text{PD1モニタ値})$$

$$= (\text{PD3モニタ値} - \text{PD1モニタ値})$$

上記の関係により、図11の光増幅器では通常動作（AGC状態）において光増幅器全体利得およびVOA減衰量を制御している。

【0122】

次に、AGC回路216の処理について説明する。AGC216は、光増幅器全体利得が所望の値となるようにレーザダイオード212および232を駆動するため、光増幅器全体利得一定制御を行う。なお、AGC回路216の構成は前述したAGC回路110の構成と同様でよい。

【0123】

光増幅器全体利得一定制御は、第2実施例と同様に、PD1モニタ値およびPD3モニタ値より算出される光増幅器全体利得が所定の値となるようにレーザダイオード212および232の出力を制御する。なお、実際の光増幅器全体利得一定制御はPD1モニタ値およびPD3モニタ値において以下の設定条件が満足されるように実施される。

【0124】

即ち、PD1モニタ値、PD3モニタ値がそれぞれ  $x$  [dBm]、 $x + \text{Amp\_Gain}$  基準値 [dBm] のときに、図7の増幅器130及び132の出力が同じ  $y$  [V] で一致するようにフォトディテクタ214および234にそれぞれ関連するモニタ回路の受光感度 [V/W] を設定する。

【0125】

そして、差動増幅134の出力は入力ポートに供給される電圧の差分が0になるようにレーザダイオード212及び232が駆動制御される。したがって、図11の光増幅器では波長数変化時であっても光増幅器全体利得を一定に保持する



ことができる。

### 【0126】

また、図11の光増幅器においても、一波当たりの入力信号光パワーの変動に対応するため、ALCを用いて入力信号光の変動を補償する制御を行う。ALC状態では、光増幅器に対して上流側に設けられている監視制御装置から波長数情報が通知され、この波長数情報を用いることで光増幅器の出力目標値が第2実施例と同様に決定される。

#### [処理方法1]

処理方法1では、PD2モニタ値から入力信号が入力ダイナミックレンジ内の何処にいるのかを認識する。その認識した情報に基づき、VOA減衰量が制御され、出力信号レベルが一定に制御される。なお、光増幅器は上流側に設けられている監視制御装置から通知される波長数情報を用いて、制御に必要な以下の値を算出する。

### 【0127】

PD1モニタ値： $z1$  [dBm]

PD2モニタ値： $z2$  [dBm]

入力信号波長数情報： $N$

入力信号光パワー： $z2 - 10\log(N)$  [dBm/ch]

一波当たりの入力信号光パワー上限値： $u$  [dBm/ch]

入力ダイナミックレンジでの位置付け： $L0 = u - \{z2 - 10\log(N)\}$

VOA減衰量： $L = z2 - z1 - Ld$  [dB]

なお、入力信号光パワー、入力ダイナミックレンジでの位置付け、VOA減衰量は、例えばマイクロコントローラなどで計算される。また、一波当たりの入力信号光パワー上限値は例えばROMに格納されている。

### 【0128】

ここで $Ld$ は、一波当たりの入力信号光パワーが $u$  [dBm/ch] のときのVOA減衰量（デッドロス）である。本発明の光増幅器では、第2実施例と同様に、一波当たりの入力光信号の変動（ $L0$ に相当）を算出して $L = L0$ となる様にVOA減衰量 $L$ を制御する。この結果、一波当たりの入力信号光パワーが変化

した場合であっても、PD1 モニタ値およびPD3 モニタ値を用いたAGC動作を行うことで、光増幅器の出力信号光パワーは目標値（PD1 モニタ値＋光増幅器全体利得目標値）となる。

〔処理方法2〕

処理方法2では、PD3 モニタ値と出力信号基準値とを比較し、この差分が0となるようにVOA減衰量を制御する。なお、光増幅器は上流側に設けられている監視制御装置から光増幅器に通知される波長数情報を用いて、制御に必要な以下の値を算出する。

【0129】

PD3モニタ値： $z3[\text{dBm}]$

入力信号波長数情報： $N$

一波当たりの出力基準値： $A0[\text{dBm/ch}]$

一波当たりの出力信号光パワー： $A[\text{dBm/ch}] = z3 - 10\text{Log}(N)$

なお、一波当たりの出力信号パワーは、例えばマイクロコントローラなどで計算される。また、一波当たりの出力基準値は例えばROMに格納されている。本発明の光増幅器では、VOA減衰量 $L$ により、一波当たりの出力信号光パワー $A$ を制御できる。したがって、 $A = A0$ となる様にVOA減衰量 $L$ を制御すればALC動作が実現できる。なお、VOA減衰量 $L$ は処理方法1と同様に $L = L0$ となる。

【0130】

前述したALC動作は、処理方法1又は2の目標値を満足させるようにVOA減衰量を制御すればよい。なお、ALC動作中のVOA減衰量が変化する速度とPD1 モニタ値が補正される速度とが同じになるため、EDF利得はALC動作中であっても常に一定値をとる。つまり、ALC動作中は利得偏差が発生することがない。

【0131】

第2実施例のEDF利得一定制御で説明したように、光増幅器においてはVOA減衰量を目標値に制御することにより、EDF利得一定制御を実現する。

【0132】

図12は、可変光減衰器198の減衰を制御するAGC回路の第3実施例の構成図である。PD1モニタ値～PD3モニタ値は、利得が固定されている増幅器240、242又は244により増幅されて、それぞれADC246、248又は250に供給される。ADC246、248又は250は、PD1モニタ値～PD3モニタ値をデジタル信号に変換してマイクロコントローラ252に供給される。

#### 【0133】

マイクロコントローラ252では、前述したように、光増幅器全体利得とVOA減衰量とを加算してEDF利得を算出できる。そのため、VOA減衰量が以下のようなVOA減衰量の目標値（VOA\_\_Loss目標値）となるように可変光減衰器198を駆動することで、マイクロコントローラ252はEDF利得一定制御を実現する。

#### 【0134】

VOA減衰量目標値＝光増幅器全体利得-EDF利得目標値

マイクロコントローラ252はVOA減衰量目標値を算出し、そのVOA減衰量目標値となるように可変光減衰器198を制御する。可変光減衰器198を制御するためにマイクロコントローラ252から出力された制御信号は、DAC254により電圧信号に変換されて、増幅器256、トランジスタ258及び抵抗R5からなる可変光減衰器198の駆動回路に供給される。なお、第3実施例においては、ALC動作を行うと同時にEDF利得が目標値となるため、VOA減衰量を一定値に制御させるだけでよい。

#### 【0135】

次に、図11の光増幅器の動作について図13を参照しつつ説明する。図13は、光増幅器の動作について説明するための模式図である。また、図14は、光増幅器の各モニタ値およびVOA減衰量の変化を示した表である。

#### 【0136】

グラフ260は、入力上限時（入力上限以外でもよい）にPD1モニタ値およびPD2モニタ値が同じ値を持つように初期値が設定された初期設定制御状態を表すものである。VOA減衰量は、光増幅器全体利得基準値からEDF利得目標

値を減算した値となるように設定される。

#### 【0137】

グラフ262は、入力信号に変動が発生した入力変動制御状態を表すものである。グラフ262は、グラフ260に比べて信号パワーが小さくなるように変動している。

#### 【0138】

グラフ264は、変動補正制御状態および光増幅器全体利得一定制御状態を表すものである。光増幅器は入力信号の変動量を算出し、その変動量を補正するようにVOA減衰量を制御する。ALC動作によりVOA減衰量を制御すると、EDF利得が目標値となる。VOA減衰量の制御により、一波当たりの入力信号の変動量が補正される。また、PD1モニタ値およびPD3モニタ値を用いたAGCにより光増幅器全体利得一定制御が行われる。

#### 【0139】

なお、図14の表に含まれる「X」は、入力信号パワーを表す。「 $\alpha$ 」は、変動量を表す。「L」は、VOA減衰量を表す。「A」は、光増幅器全体利得を表す。第3実施例の光増幅器は、第2実施例の光増幅器に比べて制御シーケンスが簡略化されている。

#### 【0140】

前述した第2及び第3実施例の光増幅器では、部品のバラツキおよび温度特性などにより「可変光減衰器の減衰量」対「駆動電流（又は電圧）」の関係が変化してしまうため、図15のように各モニタ値により減衰量をモニタリングしながら可変光減衰器の制御を実施していた。図15は、部品のバラツキおよび温度特性などにより可変光減衰器の減衰量対駆動電流（又は電圧）の関係が変化することを説明するための図である。

#### 【0141】

しかしながら、可変光減衰器の特性を光増幅器内で持つようにすれば、可変光減衰器の駆動電流を制御することでVOA減衰量を制御できる。そこで、第2および第3実施例において可変光減衰器の減衰量と駆動電流（又は電圧）の関係が既知であるとき、光増幅器を図16および図19のような構成にすることで光回

路部品を削減することができる。

#### 【0142】

図16は、本発明による光増幅器の第4実施例のブロック図である。図16の光増幅器は、フォトディテクタ106、108及び126が削減されている点が図6の光増幅器の構成と異なっている。そこで、図16では図6と同一部分に同一符号を付して説明を省略する。なお、図16の光増幅器は可変光減衰器の特性をテーブルまたは関数として持ち、例えばマイクロコントローラで処理した値で可変光減衰器を駆動する。

#### 【0143】

光増幅器全体利得、EDF利得、VOA1減衰量、VOA2減衰量は、PD3モニタ値、PD5モニタ値を用いて以下のように求めることができる。なお、PD3モニタ値とVOA2減衰量との加算値は入力信号パワーに相当する。

#### 【0144】

$$\text{Amp\_Gain} = \text{PD5モニタ値} - (\text{PD3モニタ値} + \text{VOA2\_Loss})$$

$$\text{EDF\_total\_Gain} = \text{Amp\_Gain} + \text{VOA1\_Loss}$$

光増幅器全体利得一定制御は、PD3モニタ値およびPD5モニタ値により算出される光増幅器全体利得が、所望の値となる様にレーザダイオード104及び122を駆動する。なお、AGC回路110の構成は図7と同様であるので説明を省略する。

#### 【0145】

また、ALC動作は第2実施例の光増幅器と同様に、入力信号または出力信号のモニタ値から一波当たりの入力信号の変動を算出し、算出した値を目標値として可変光減衰器88および90を駆動する。

#### 【0146】

さらに、図16の光増幅器は図17のようなAGC回路112を用いてEDF利得一定制御を行う。図17は、可変光減衰器88及び90の減衰を制御するAGC回路の第4実施例の構成図である。

#### 【0147】

フォトディテクタ124及び128による電圧信号は、利得が固定されている

増幅器 270 または 272 により増幅されて、それぞれ ADC 274 及び 276 に供給される。ADC 274 及び 276 は、フォトディテクタ 124 及び 128 による電圧信号をデジタル信号に変換してマイクロコントローラ 278 に供給する。

#### 【0148】

マイクロコントローラ 278 では、前述したように、光増幅器全体利得と VOA1 減衰量とを加算して EDF 利得を算出できる。そのため、VOA1 減衰量が以下のような VOA1 減衰量の目標値 (VOA1\_Loss 目標値) となるように可変光減衰器 88 を駆動することで、マイクロコントローラ 278 は EDF 利得一定制御を実現する。

#### 【0149】

VOA1 減衰量目標値 = 光増幅器全体利得 - EDF 利得目標値

マイクロコントローラ 278 は VOA1 減衰量目標値を算出し、その VOA1 減衰量目標値となるように可変光減衰器 88 を制御する。可変光減衰器 88 を制御するためにマイクロコントローラ 278 から出力された制御信号は、DAC 280 により電圧信号に変換されて、増幅器 282、トランジスタ 284 及び抵抗 R5 からなる可変光減衰器 88 の駆動回路に供給される。

#### 【0150】

次に、図 16 の光増幅器の動作について説明する。図 18 は、光増幅器の各モニタ値および VOA 減衰量の変化を示した表である。

#### 【0151】

図 16 の光増幅器は、入力上限時 (入力上限以外でもよい) の VOA2 減衰量および PD1 モニタ値を設定する。なお、VOA1 減衰量は、例えば ROM などに格納されている初期値となっている。

#### 【0152】

光増幅器は、入力信号に変動が発生しているとき、その入力信号の変動量を算出し、その変動量を補正するように VOA2 減衰量を制御する。VOA2 減衰量の制御により、一波当たりの入力信号の変動量が補正される。また、PD3 モニタ値および PD5 モニタ値を用いた AGC により光増幅器全体利得一定制御が行

われ、EDF利得目標値を保持するようにVOA1減衰量が制御される。

#### 【0153】

なお、図18の表に含まれる「X」は、入力信号パワーを表す。「 $\alpha$ 」は、変動量を表す。「L1」は、VOA1減衰量を表す。「L2」は、VOA2減衰量を表す。「A」は、光増幅器全体利得を表す。

#### 【0154】

図19は、本発明による光増幅器の第5実施例のブロック図である。図19の光増幅器は、フォトディテクタ230が削減されている点が図11の光増幅器の構成と異なっている。そこで、図19では図11と同一部分に同一符号を付して説明を省略する。なお、図19の光増幅器は可変光減衰器の特性をテーブルまたは関数として持ち、例えばマイクロコントローラで処理した値で可変光減衰器を駆動する。

#### 【0155】

光増幅器全体利得、EDF利得、VOA減衰量は、PD1モニタ値、PD3モニタ値を用いて以下のように求めることができる。なお、PD1モニタ値とVOA減衰量との加算値は入力信号パワーに相当する。

#### 【0156】

$$\text{Amp\_Gain} = \text{PD3モニタ値} - (\text{PD1モニタ値} + \text{VOA\_Loss})$$

$$\text{EDF\_total\_Gain} = \text{Amp\_Gain} + \text{VOA\_Loss}$$

光増幅器全体利得一定制御は、PD1モニタ値およびPD3モニタ値により算出される光増幅器全体利得が、所望の値となる様にレーザダイオード212及び232を駆動する。なお、AGC回路216の構成は図7と同様であるので説明を省略する。

#### 【0157】

また、ALC動作は第2実施例の光増幅器と同様に、入力信号または出力信号のモニタ値から一波当たりの入力信号の変動を算出し、算出した値を目標値として可変光減衰器198を駆動する。

#### 【0158】

さらに、図19の光増幅器は前述したようなAGC回路218を用いてEDF

利得一定制御を行う。フォトディテクタ 214 及び 234 による電圧信号は、利得が固定されている増幅器により増幅されて、それぞれ ADC 274 に供給される。ADC は、フォトディテクタ 214 及び 234 による電圧信号をデジタル信号に変換してマイクロコントローラに供給する。

#### 【0159】

マイクロコントローラでは、前述したように、光増幅器全体利得と VOA 減衰量とを加算して EDF 利得を算出できる。そのため、VOA 減衰量が以下のような VOA 減衰量の目標値 (VOA 1\_\_Loss 目標値) となるように可変光減衰器 198 を駆動することで、マイクロコントローラは EDF 利得一定制御を実現する。

#### 【0160】

VOA 減衰量目標値 = 光増幅器全体利得 - EDF 利得目標値

マイクロコントローラは VOA 減衰量目標値を算出し、その VOA 減衰量目標値となるように可変光減衰器 198 を制御する。可変光減衰器 198 を制御するためにマイクロコントローラから出力された制御信号は、DAC により電圧信号に変換されて、増幅器、トランジスタ及び抵抗からなる可変光減衰器 198 の駆動回路に供給される。

#### 【0161】

次に、図 19 の光増幅器の動作について説明する。図 20 は、光増幅器の各モニタ値および VOA 減衰量の変化を示した表である。

#### 【0162】

図 19 の光増幅器は、入力上限時 (入力上限以外でもよい) の VOA 減衰量および PD1 モニタ値を設定する。なお、VOA 減衰量は、例えば ROM などに格納されている初期値となっている。

#### 【0163】

光増幅器は、入力信号に変動が発生しているとき、その入力信号の変動量を算出し、その変動量を補正するように VOA 減衰量を制御する。VOA 減衰量の制御により、一波当たりの入力信号の変動量が補正される。また、PD1 モニタ値および PD3 モニタ値を用いた AGC により光増幅器全体利得一定制御が行われ



、EDF利得目標値を保持するようにVOA減衰量が制御される。

【0164】

なお、図20の表に含まれる「X」は、入力信号パワーを表す。「 $\alpha$ 」は、変動量を表す。「L」は、VOA減衰量を表す。「A」は、光増幅器全体利得を表す。

【0165】

このように、本実施形態では、可変光減衰器の制御により光増幅器全体としての利得の波長特性が一定に保たれるようにしている。従って、従来のように複数の光増幅ユニットのそれぞれに関してAGCを行って利得の波長特性を一定に保つ場合と比較して、光増幅器の制御構成を簡単にすることができるため高速AGCに対応が可能となる。

【0166】

また、光増幅器の制御構成を簡単にすることができるため、必要な部品点数を削減できる。この結果、本発明の光増幅器は大幅なコストの削減と部品点数の削減に伴う実装面積の縮小とを実現できる。

【0167】

本発明は、以下の付記を含むものである。

(付記1) 第1及び第2の光増幅ユニットと、

前記第1及び第2の光増幅ユニットの間に光学的に接続された可変光減衰器と

前記第1の光増幅ユニットの入力及び前記第2の光増幅ユニットの出力に基き前記第1及び第2の光増幅ユニットの利得を制御する第1の制御ユニットと、

前記第1の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第2の光増幅ユニットの入力及び出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第2の制御ユニットとを備えた光増幅器。

(付記2) 前記第1の光増幅ユニットの入力及び出力をそれぞれ電気信号に変換する第1及び第2のフォトディテクタと、前記第2の光増幅ユニットの入力及び出力をそれぞれ電気信号に変換する第3及び第4のフォトディテクタとを更に備え、

前記第 1 及び第 4 のフォトディテクタからの電気信号が前記第 1 の制御ユニットに供給され、

前記第 1 乃至第 4 のフォトディテクタからの電気信号が前記第 2 の制御ユニットに供給される付記 1 記載の光増幅器。

(付記 3) 前記第 1 の制御ユニットは、前記第 1 及び第 4 のフォトディテクタからの電気信号のレベル差が設定値に一致するように前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットを制御する手段を含む付記 2 記載の光増幅器。

(付記 4) 前記第 2 の制御ユニットは、前記第 1 及び第 2 のフォトディテクタからの電気信号のレベル差と前記第 3 及び第 4 のフォトディテクタからの電気信号のレベル差の和が一定になるように前記可変光減衰器の減衰を制御する手段を含む付記 2 記載の光増幅器。

(付記 5) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、  
前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器と、  
前記第 1 の光増幅ユニットの入力を減衰する第 2 の可変光減衰器と、  
前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 の制御ユニットと、  
前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 の制御ユニットとを備えた光増幅器。

(付記 6) 前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力をそれぞれ電気信号に変換する第 1 及び第 2 のフォトディテクタと、前記第 2 の可変光減衰器の出力を電気信号に変換する第 3 のフォトディテクタと、前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力をそれぞれ電気信号に変換する第 4 及び第 5 のフォトディテクタとを更に備え、

前記第 3 及び第 5 のフォトディテクタからの電気信号が前記第 1 の制御ユニットに供給され、

前記第 1, 2, 4 及び 5 のフォトディテクタからの電気信号が前記第 2 の制御ユニットに供給される付記 5 記載の光増幅器。

(付記 7) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第1の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器と、

前記可変光減衰器により減衰された前記第1の光増幅ユニットの入力及び前記第2の光増幅ユニットの出力に基き前記第1及び第2の光増幅ユニットの利得を制御する第1の制御ユニットと、

前記第1の光増幅ユニットの入力、前記可変光減衰器により減衰された前記第1の光増幅ユニットの入力及び前記第2の光増幅ユニットの出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第2の制御ユニットとを備えた光増幅器。

(付記8) 前記可変光減衰器により減衰された前記第1の光増幅ユニットの入力を電気信号に変換する第1のフォトディテクタと、前記第1の光増幅ユニットの入力を電気信号に変換する第2のフォトディテクタと、前記第2の光増幅ユニットの出力を電気信号に変換する第3のフォトディテクタとを更に備え、

前記第1及び第3のフォトディテクタからの電気信号が前記第1の制御ユニットに供給され、

前記第1～3のフォトディテクタからの電気信号が前記第2の制御ユニットに供給される付記7記載の光増幅器。

(付記9) 第1及び第2の光増幅ユニットと、

前記第1の光増幅ユニットの出力を減衰する第1の可変光減衰器と、

前記第1の光増幅ユニットの入力を減衰する第2の可変光減衰器と、

前記第2の可変光減衰器の出力及び前記第2の光増幅ユニットの出力に基き前記第1及び第2の光増幅ユニットの利得を制御する第1の制御ユニットと、

前記第2の可変光減衰器の出力、前記第2の光増幅ユニットの出力及び前記第1及び第2の可変光減衰器の特性に基き前記第1及び第2の可変光減衰器の減衰を制御する第2の制御ユニットとを備えた光増幅器。

(付記10) 前記第2の可変光減衰器の出力を電気信号に変換する第1のフォトディテクタと、前記第2の光増幅ユニットの出力を電気信号に変換する第2のフォトディテクタとを更に備え、

前記第1及び第2のフォトディテクタからの電気信号が前記第1の制御ユニットに供給され、

前記第1及び第2のフォトディテクタからの電気信号が前記第2の制御ユニット

に供給される付記 9 記載の光増幅器。

(付記 11) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器と、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 の制御ユニットと、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記可変光減衰器の特性に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 の制御ユニットとを備えた光増幅器。

(付記 12) 前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力を電気信号に変換する第 1 のフォトディテクタと、前記第 2 の光増幅ユニットの出力を電気信号に変換する第 2 のフォトディテクタとを更に備え、

前記第 1 及び第 2 のフォトディテクタからの電気信号が前記第 1 の制御ユニットに供給され、

前記第 1 及び第 2 のフォトディテクタからの電気信号が前記第 2 の制御ユニットに供給される付記 11 記載の光増幅器。

(付記 13) 前記第 1 の制御ユニットは前記光増幅器の出力パワーが一定になるように前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御し、

前記第 2 の制御ユニットは前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得の和が一定になるように前記可変光減衰器の減衰を制御する付記 1 乃至 12 何れか一項記載の光増幅器。

(付記 14) 前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの各々は、光増幅媒体と、前記光増幅媒体にポンプ光を供給するポンプ光源とを備えており、

前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの各利得は前記ポンプ光源から出力されるポンプ光のパワーにより制御される付記 1 乃至 13 何れか一項記載の光増幅器。

(付記 15) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの間に光学的に接続された可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き

前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

(付記 16) 前記第 1 のステップは前記光増幅器の出力パワーが一定になるように前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御するステップを含み、

前記第 2 のステップは前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得の和が一定になるように前記可変光減衰器の減衰を制御するステップを含む付記 15 記載の制御方法。

(付記 17) 前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの各々は、光増幅媒体と、前記光増幅媒体にポンプ光を供給するポンプ光源とを備えており、

前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの各利得は前記ポンプ光源から出力されるポンプ光のパワーにより制御される付記 16 記載の制御方法。

(付記 18) 前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力をそれぞれ第 1 及び第 2 の電気信号に変換するステップと、前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力をそれぞれ第 2 及び第 3 の電気信号に変換するステップとを更に備え、

前記第 1 のステップは前記第 1 及び第 4 の電気信号を供給されることを含み、

前記第 2 のステップは前記第 1 乃至第 4 の電気信号を供給されることを含む付記 15 記載の制御方法。

(付記 19) 前記第 1 のステップは、前記第 1 及び第 4 の電気信号のレベル差が設定値に一致するように前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットを制御するステップを含む付記 18 記載の制御方法。

(付記 20) 前記第 2 のステップは、前記第 1 及び第 2 の電気信号のレベル差と前記第 3 及び第 4 の電気信号のレベル差の和が一定になるように前記可変光減衰器の減衰を制御するステップを含む付記 18 記載の制御方法。

(付記 21) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力並びに前記第 2 の光増幅ユニットの入力及び出力に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

(付記 2 2) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

(付記 2 3) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの出力を減衰する第 1 の可変光減衰器と、前記第 1 の光増幅ユニットの入力を減衰する第 2 の可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記第 2 の可変光減衰器の出力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記第 2 の可変光減衰器の出力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の特性に基き前記第 1 及び第 2 の可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

(付記 2 4) 第 1 及び第 2 の光増幅ユニットと、前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び出力を減衰する可変光減衰器とを備えた光増幅器の制御方法であって、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力及び前記第 2 の光増幅ユニットの出力に基き前記第 1 及び第 2 の光増幅ユニットの利得を制御する第 1 のステップと、

前記可変光減衰器により減衰された前記第 1 の光増幅ユニットの入力、前記第 2 の光増幅ユニットの出力及び前記可変光減衰器の特性に基き前記可変光減衰器の減衰を制御する第 2 のステップとを備えた制御方法。

【0168】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、WDMに適用可能な光増幅器において A G C 及び A L C を実施する場合に、制御誤差が生じにくく、複雑な構成を必要とせず、且つ、波長数増減に容易に対応可能な光増幅器及び光増幅器の制御方法を提供できる。

【0.169】

【図面の簡単な説明】

【図1】

光増幅器において A G C 及び A L C の両方を行うのに最適な構成を示すブロック図である。

【図2】

光増幅器の動作の一例について説明するための模式図である。

【図3】

本発明による光増幅器の第1実施例のブロック図である。

【図4】

光増幅ユニットの利得を制御する A G C 回路の第1実施例の構成図である。

【図5】

可変光減衰器 18 の減衰を制御する A G C 回路の第1実施例の構成図である。

【図6】

本発明による光増幅器の第2実施例のブロック図である。

【図7】

光増幅ユニットの利得を制御する A G C 回路の第2実施例の構成図である。

【図8】

可変光減衰器の減衰を制御する A G C 回路の第2実施例の構成図である。

【図9】

光増幅器の動作について説明するための模式図である。

【図10】

光増幅器の各モニタ値および V O A 減衰量の変化を示した表である。

【図11】

本発明による光増幅器の第3実施例のブロック図である。

## 【図 1 2】

可変光減衰器の減衰を制御する A G C 回路の第 3 実施例の構成図である。

## 【図 1 3】

光増幅器の動作について説明するための模式図である。

## 【図 1 4】

光増幅器の各モニタ値および V O A 減衰量の変化を示した表である。

## 【図 1 5】

部品のバラツキおよび温度特性などにより可変光減衰器の減衰量対駆動電流の関係が変化することを説明するための図である。

## 【図 1 6】

本発明による光増幅器の第 4 実施例のブロック図である。

## 【図 1 7】

可変光減衰器の減衰を制御する A G C 回路の第 4 実施例の構成図である。

## 【図 1 8】

光増幅器の各モニタ値および V O A 減衰量の変化を示した表である。

## 【図 1 9】

本発明による光増幅器の第 5 実施例のブロック図である。

## 【図 2 0】

光増幅器の各モニタ値および V O A 減衰量の変化を示した表である。

## 【符号の説明】

1 6, 8 6, 1 9 6 第 1 の光増幅ユニット

1 8, 1 9 8 可変光減衰器

2 0, 9 2, 2 0 0 第 2 の光増幅ユニット

2 6, 4 4, 1 0 0, 1 1 8, 2 0 6, 2 2 6 E D F

2 8, 4 6, 1 0 4, 1 2 2, 2 1 2, 2 3 2 レーザダイオード

3 2, 3 4, 5 0, 5 4, 1 0 6, 1 0 8, 1 2 4, 1 2 6, 1 2 8, 2 1 4

, 2 3 0, 2 3 4 フォトディテクタ

3 6, 3 8, 1 1 0, 1 1 2, 2 1 6, 2 1 8 A G C 回路

8 8 第 1 の可変光減衰器

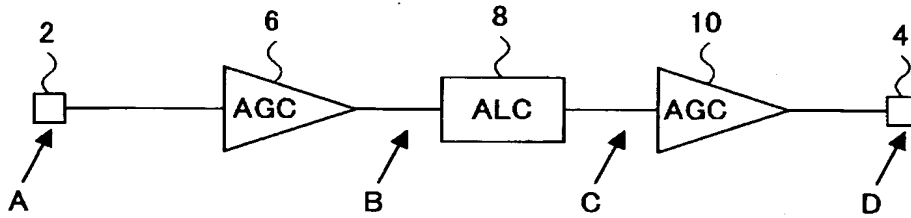


9 0 第 2 の可変光減衰器

【書類名】 図面

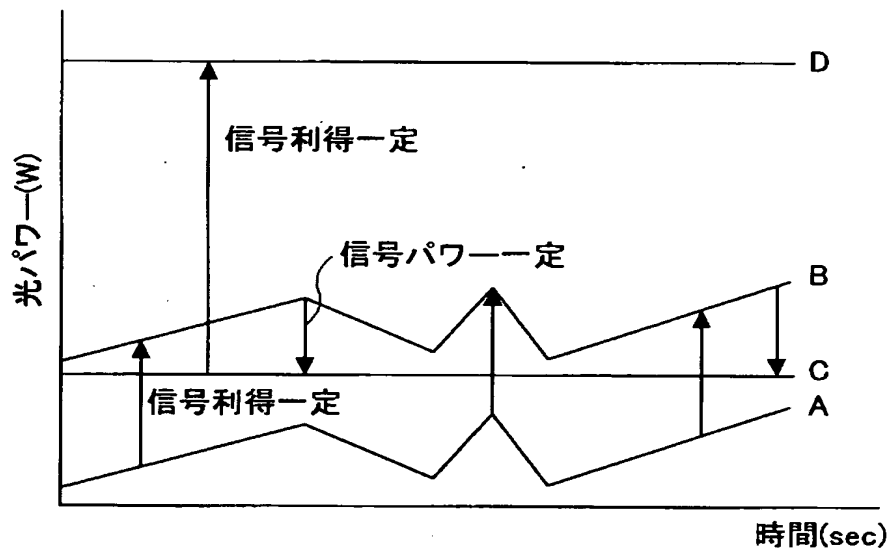
【図 1】

光増幅器においてAGC及びALCの両方を行うのに最適な構成を示すブロック図



【図 2】

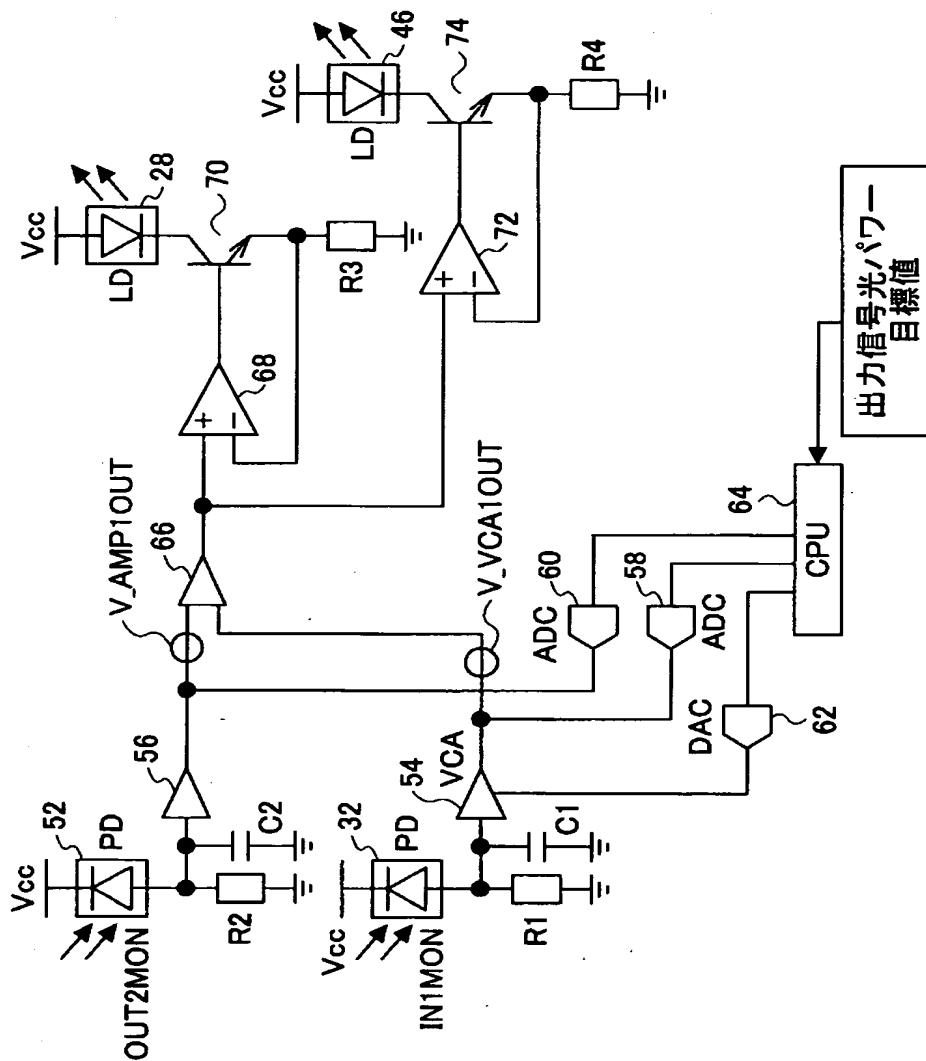
光増幅器の動作の一例について説明するための模式図



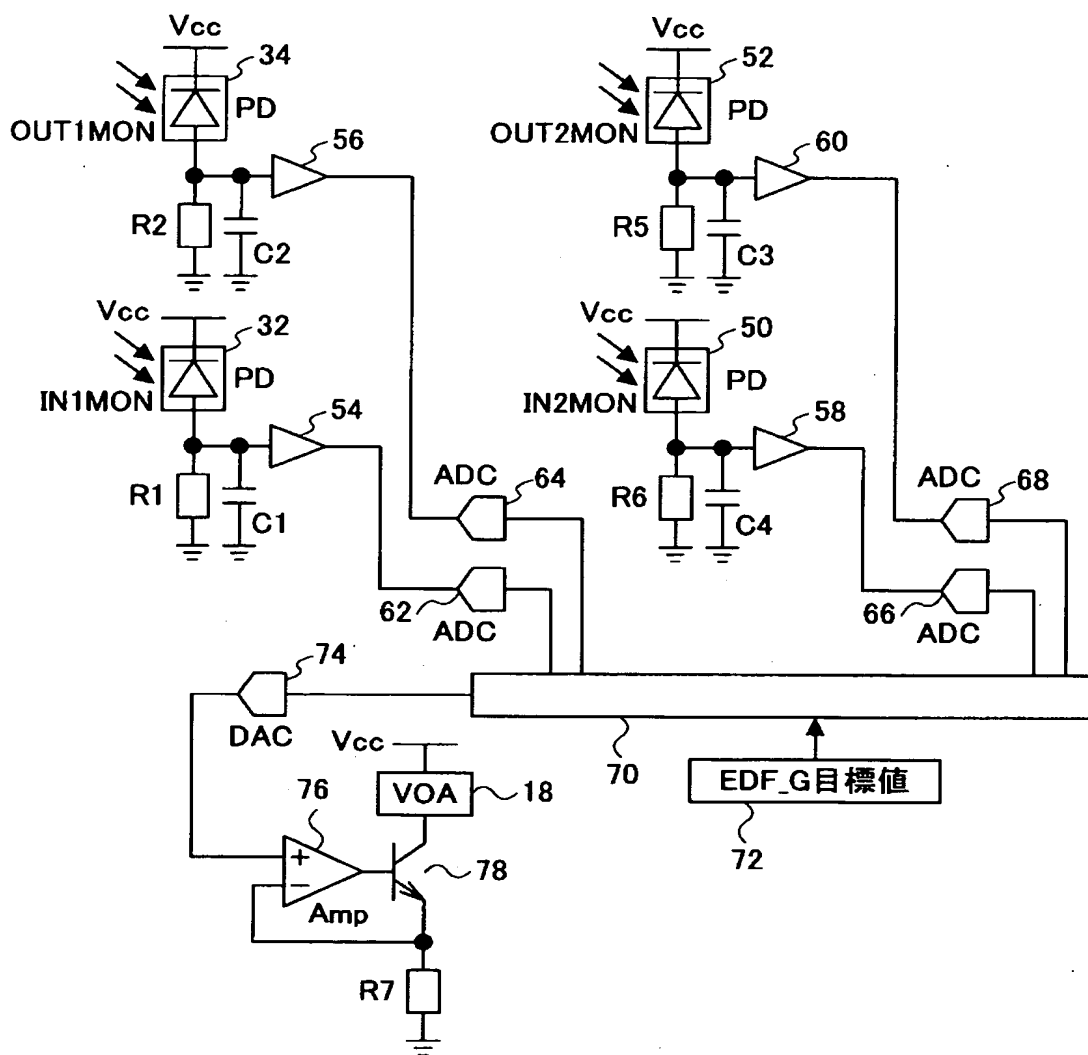


【図 4】

### 光増幅ユニットの利得を制御する A G C回路の第1実施例の構成図

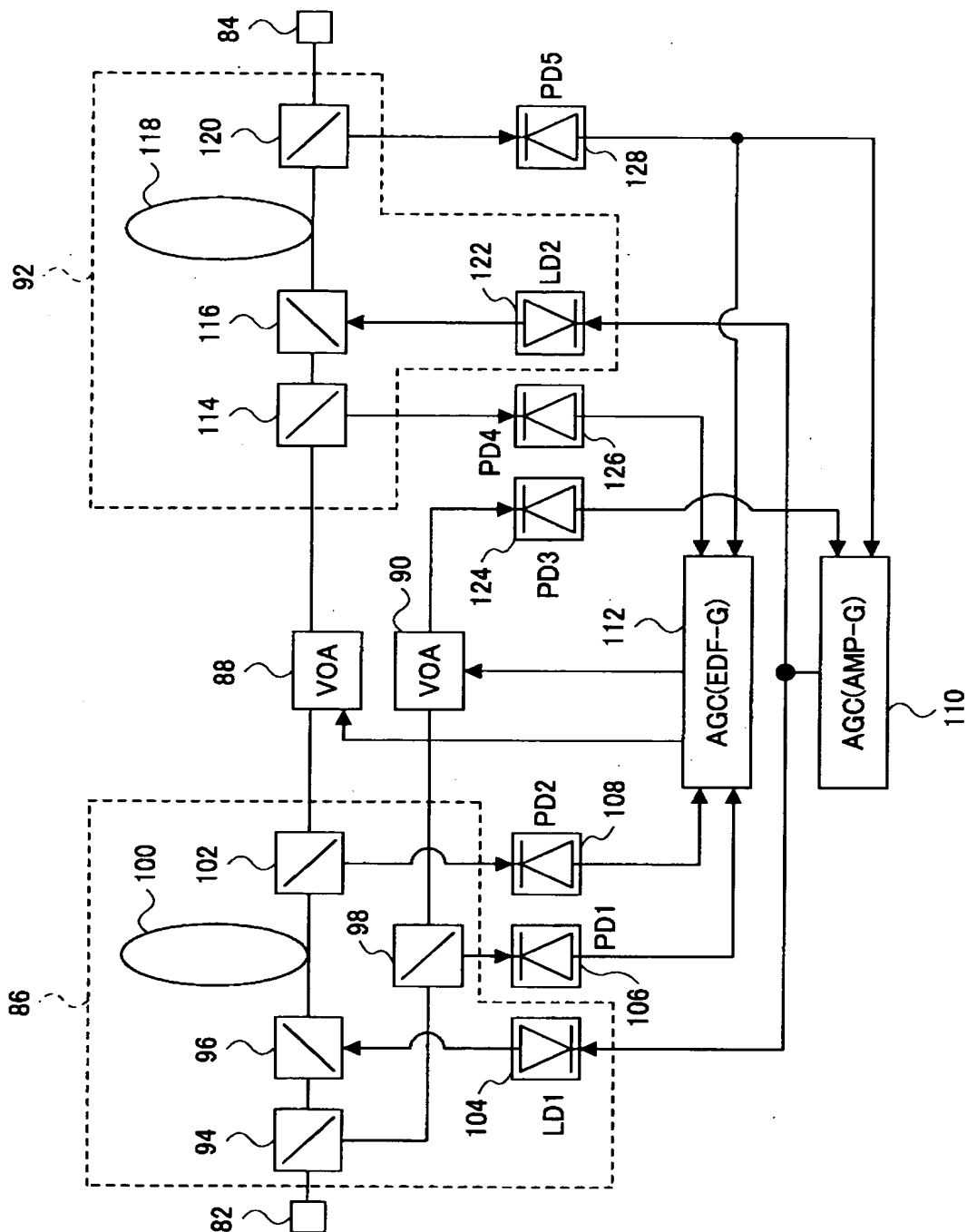


【図 5】

可変光減衰器の減衰を制御する  
AGC回路の第1実施例の構成図

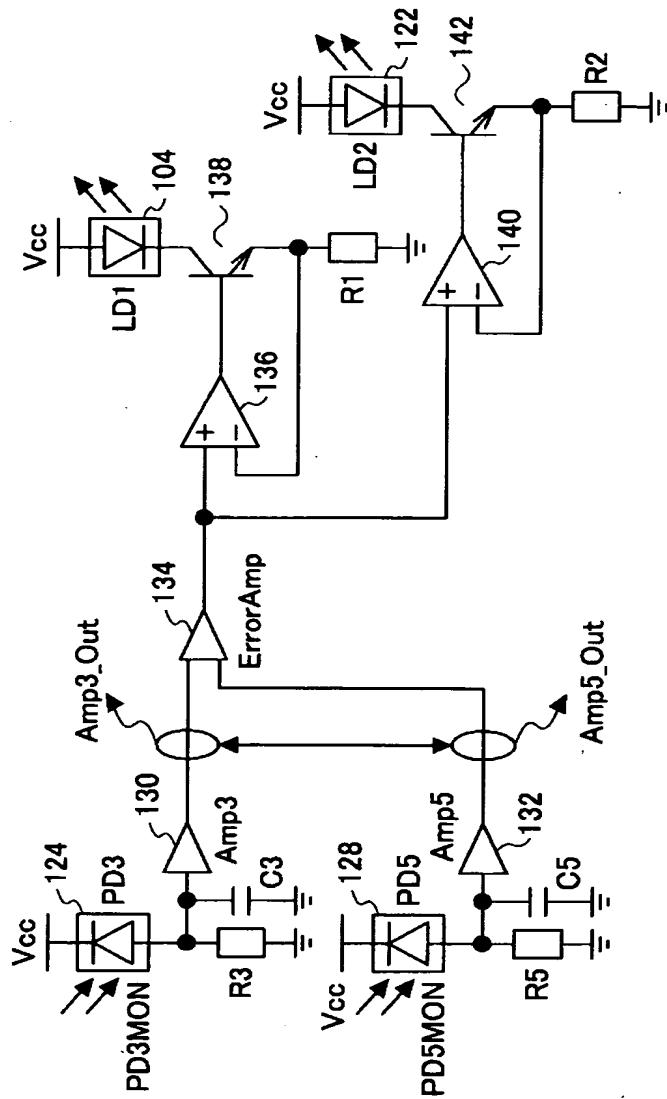
【図 6】

本発明による光増幅器の第2実施例のブロック図



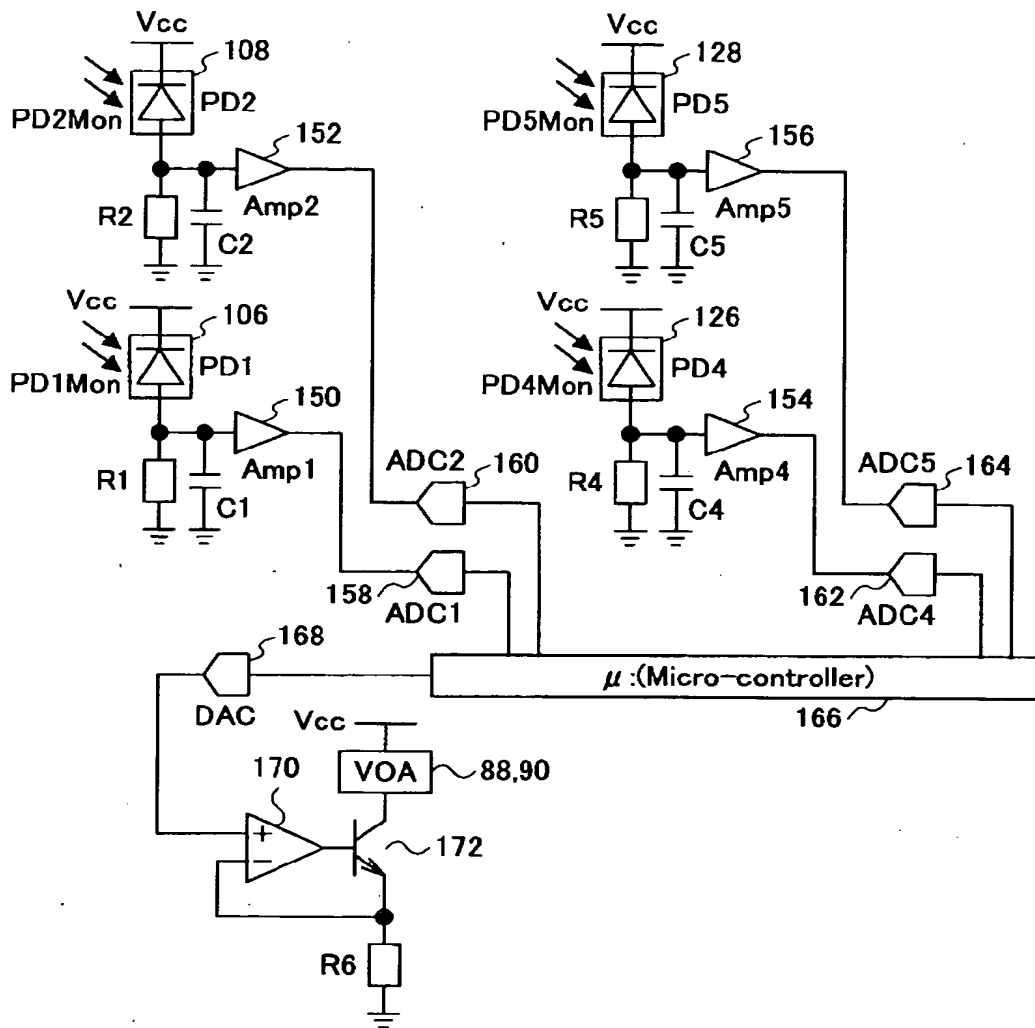
【図 7】

光増幅ユニットの利得を制御する  
A G C 回路の第 2 実施例の構成図



【図 8】

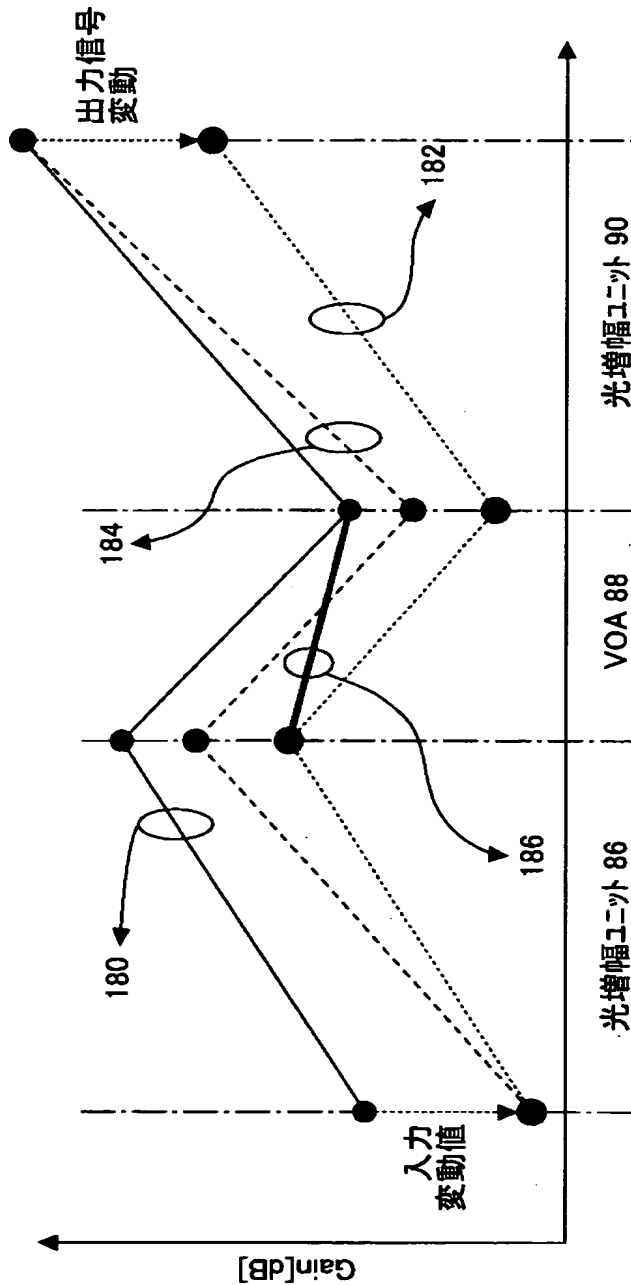
可変光減衰器の減衰を制御する A G C 回路の第 2 実施例の構成図





【図 9】

光増幅器の動作について説明するための模式図



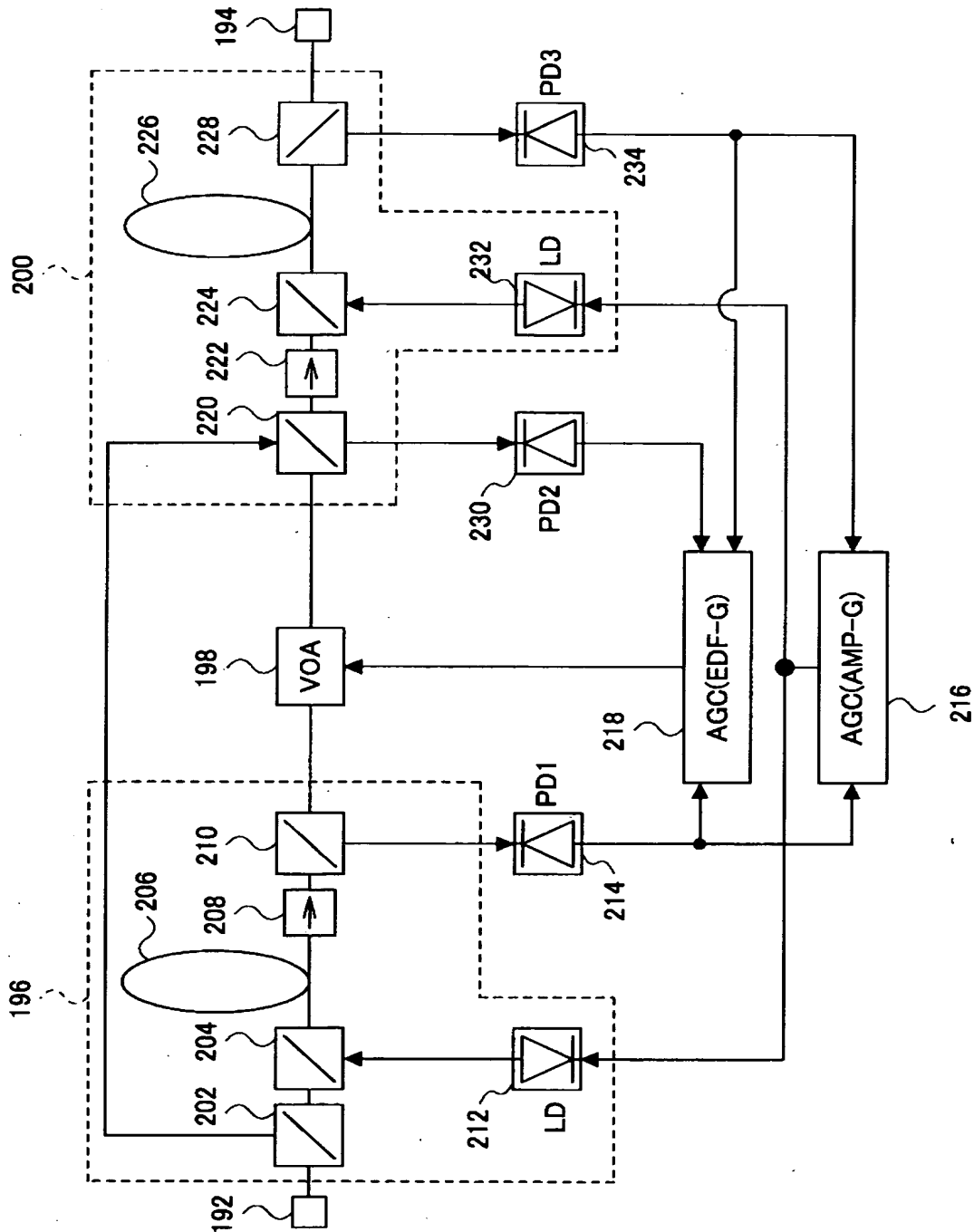
【図 10】

光増幅器の各モニタ値およびVOA減衰量の変化を示した表

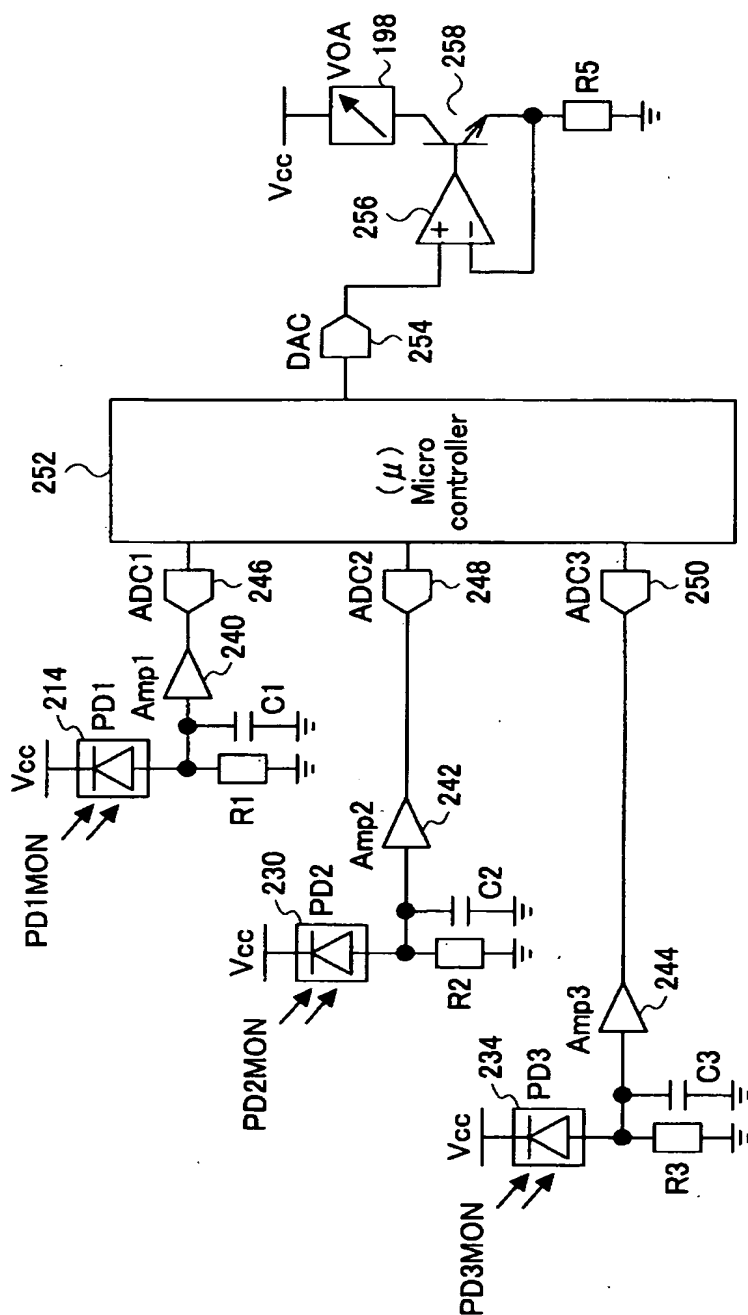
制御状態	入力信号	PD1 モニタ値	PD3 モニタ値	PD5 モニタ値	VOA1 _Loss	VOA2 _Loss	EDF_ total_Gain	AMP_Gain
初期設定 入力変動 変動補正 EDF_Gain制御	X	X	X	X+A	L1	L2	A+L1	A
	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X+A- $\alpha$	L1	L2	A+L1	A
	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X	X+A	L1	L2- $\alpha$	A+L1+ $\alpha$	A+ $\alpha$
	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X	X+A	L1- $\alpha$	L2- $\alpha$	A+L1	A+ $\alpha$

【図 11】

本発明による光増幅器の第3実施例のブロック図

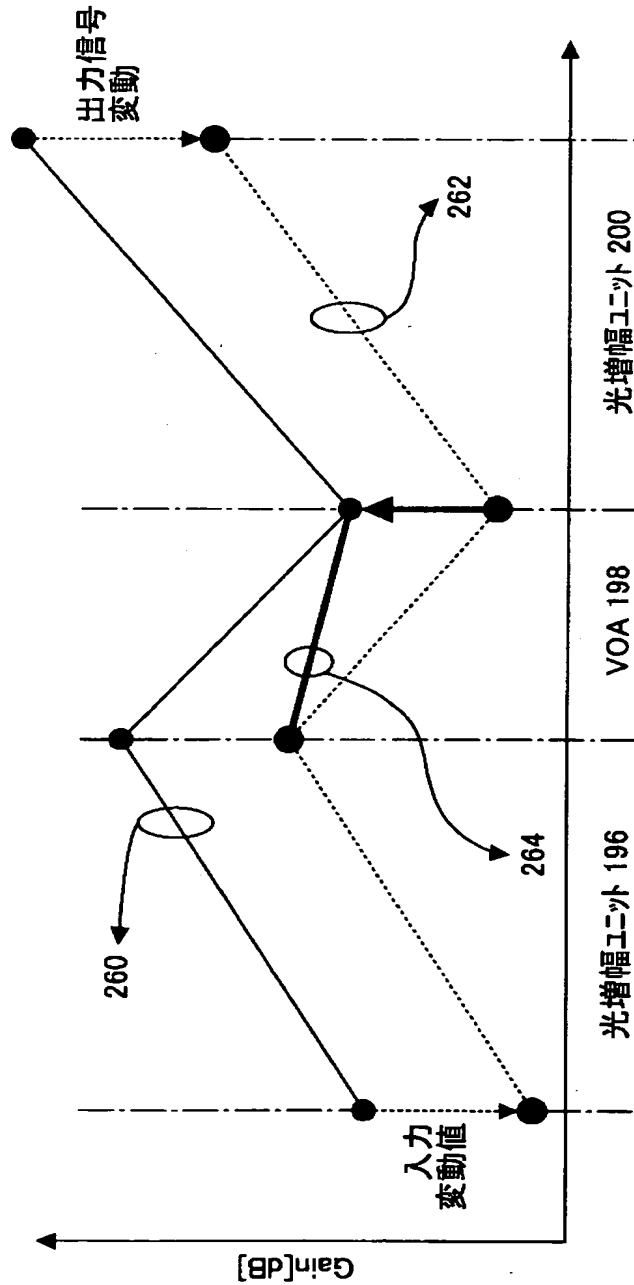


【図 12】

可変光減衰器の減衰を制御する  
AGC回路の第3実施例の構成図

【図 13】

光増幅器の動作について説明するための模式図



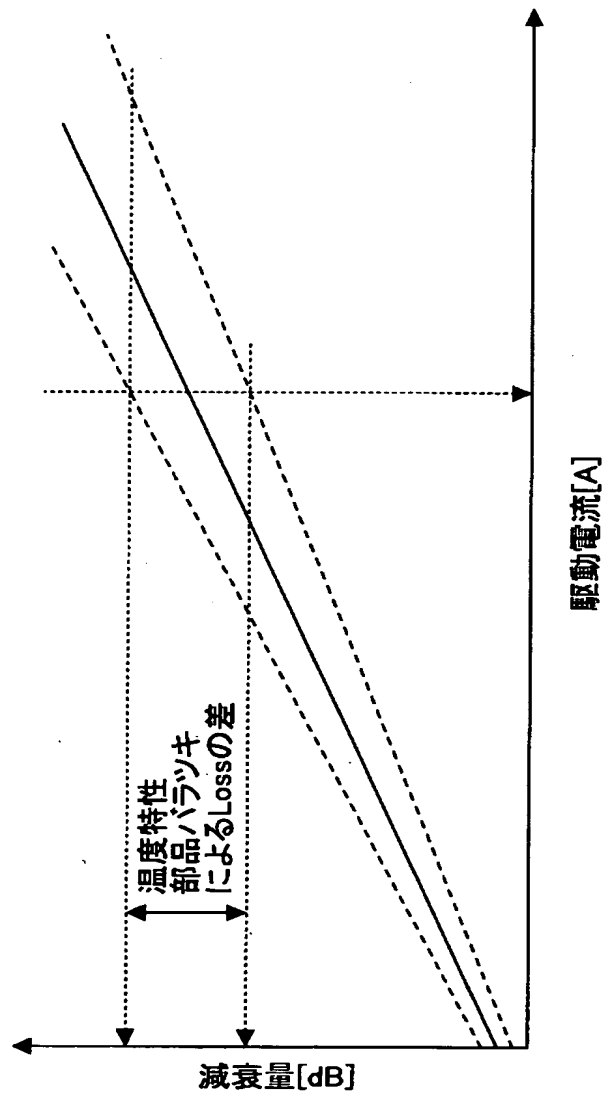
【図 14】

光増幅器の各モニタ値およびVOA減衰量の変化を示した表

制御状態	入力信号	PD1 モニタ値	PD2 モニタ値	PD3 モニタ値	VOA _Loss	EDF_ total_Gain	AMP_ Gain
初期設定	X	X	X	X+A	L	A+L	A
1波入力変動	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X+A- $\alpha$	L	A+L	A
変動補正	X- $\alpha$	X	X- $\alpha$	X+A	L- $\alpha$	A+L	A+ $\alpha$
EDF_Gain制御	X- $\alpha$	X	X- $\alpha$	X+A	L- $\alpha$	A+L	A+ $\alpha$

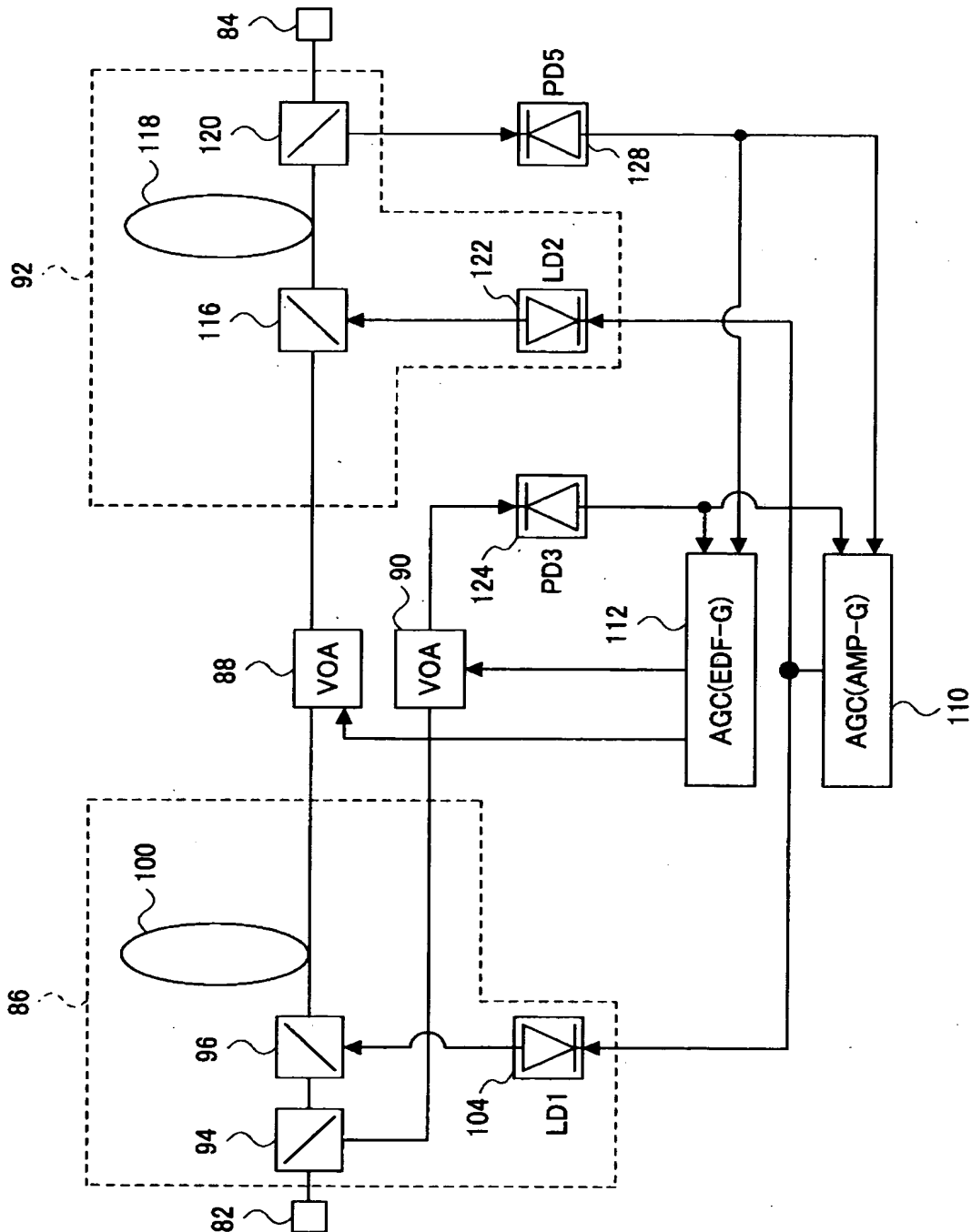
【図 15】

部品のバラツキおよび温度特性などにより可変光減衰器の減衰量対駆動電流の関係が変化することを説明するための図



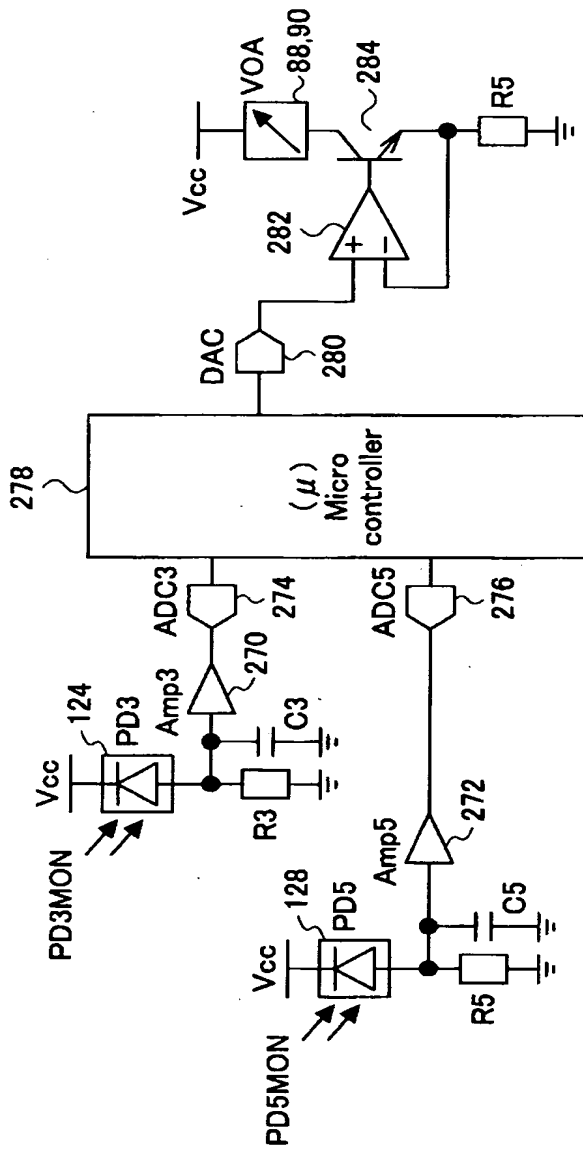
【図 16】

本発明による光増幅器の第 4 実施例のブロック図





【図 17】

可変光減衰器の減衰を制御する  
AGC回路の第4実施例の構成図

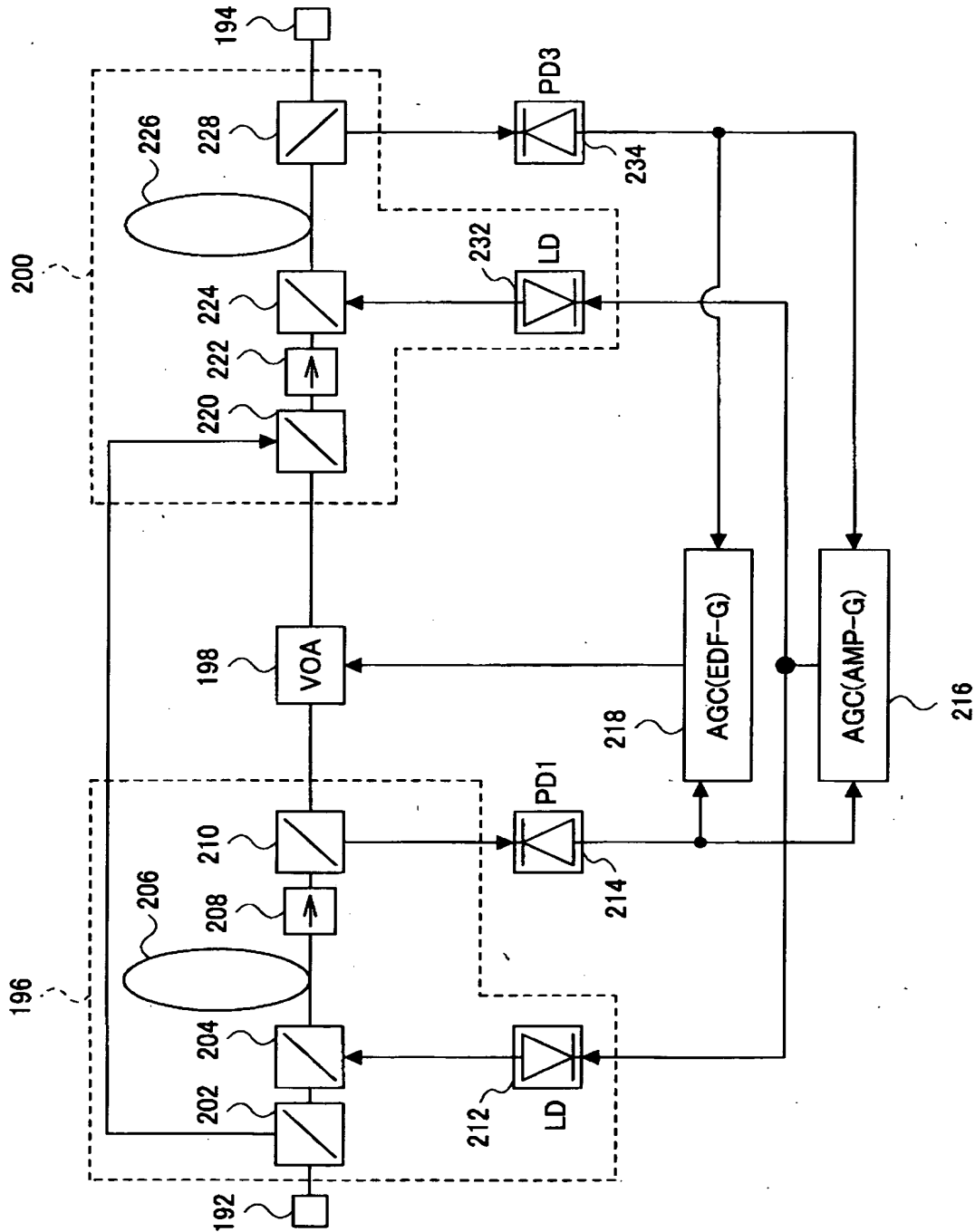
【図 18】

光増幅器の各モニタ値およびVOA減衰量の変化を示した表

制御状態	入力信号	PD3 モニタ値	PD5 モニタ値	VOA1 Loss	VOA2 Loss	EDF_ total_Gain	AMP_Gain
初期設定	X	X	X+A	L1	L2	A+L1	A
入力変動	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X- $\alpha$ +A	L1	L2	A+L1	A
変動補正	X- $\alpha$	X	X+A	L1	L2- $\alpha$	A+ $\alpha$ +L1	A+ $\alpha$
EDF_Gain制御	X- $\alpha$	X	X+A	L1- $\alpha$	L2- $\alpha$	A+L1	A+ $\alpha$

【図 19】

本発明による光増幅器の第5実施例のブロック図



【図 20】

光増幅器の各モニタ値およびVOA減衰量の変化を示した表

制御状態	入力信号	PD1 モニタ値	PD3 モニタ値	VOA _Loss	EDF_ total_Gain	AMP_Gain
初期設定 入力変動 変動補正 EDF_Gain制御	X	X	X+A	L	A+L	A
	X- $\alpha$	X- $\alpha$	X- $\alpha$ +A	L	A+L	A
	X- $\alpha$	X	X+A	L- $\alpha$	A+L	A+ $\alpha$
	X- $\alpha$	X	X+A	L- $\alpha$	A+L	A+ $\alpha$

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 自動利得制御および自動レベル制御を実施する場合に、制御誤差が生じにくく、複雑な構成を必要とせず、且つ波長数の増減に容易に対応できる、波長分割多重に適用可能な光増幅器及び光増幅器の制御方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 第1及び第2の光増幅ユニット16, 20と、第1及び第2の光増幅ユニット16, 20の間に光学的に接続された可変光減衰器18と、第1の光増幅ユニット16の入力及び第2の光増幅ユニット20の出力に基き第1及び第2の光増幅ユニット16, 20の利得を制御する第1の制御ユニット36と、第1の光増幅ユニット16の入力及び出力並びに第2の光増幅ユニット20の入力及び出力に基き可変光減衰器18の減衰を制御する第2の制御ユニット38とを備えることにより上記課題を解決する。

【選択図】 図3

特願 2 0 0 2 - 3 3 3 5 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 1 0 1 5 番地

氏 名

富士通株式会社

2. 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社